



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

“Diseño de un sistema de refrigeración por absorción para abastecer de energía al sistema de  
aire acondicionado en vehículos ligeros”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

Br. Lusverly Luis Rojas Moron (ORCID: 0000-0003-1020-2004)

**ASESOR:**

Msc. James Skinner Celada Padilla (ORCID: 0000-0002-5901-2669)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

**Chiclayo – Perú**

**2019**

## **Dedicatoria**

la presente tesis se la dedico a Dios por permitirme estar con vida hasta el día de hoy. A mi mamá: Reyna Moron Garcia y mi papá: Andres Rojas Díaz, por su apoyo incondicional desde el momento en que vi la luz por primera vez, por su amor y cuidado, fuerzas e instrucción en cuanto a conocimiento valores. A todos los buenos docentes que me orientaron y enseñaron durante mi formación técnica y profesional. También a los compañeros y personas sinceras que alguna vez me apoyaron y dieron fuerza para seguir adelante.

**Lusverly Luis Rojas Moron**

### **Agradecimiento**

A Dios por darme sabiduría y permitirme culminar esta etapa de mi vida, A mis padres por enseñarme a preservar la vida, a mis príncipes. Luana, Keving, Dayana quienes me dan la felicidad, el impulso para no dejar de luchar, a mí querida esposa Anita por su apoyo constantemente. **¡Mil gracias a todos!**

**Lusverly Luis Rojas Moron**

## **Página del jurado**

## Declaratoria de autenticidad

### DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Lusverly Luis Rojas Moron, estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo, identificado con DNI N°42781443, con el trabajo de investigación titulada,

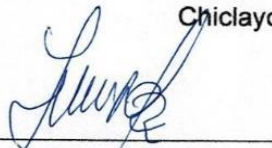
**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN PARA ABASTECER DE ENERGÍA AL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO EN VEHÍCULOS LIGEROS”**

**Declaro bajo juramento que:**

- 1) El trabajo de investigación es mi autoría propia.
- 2) Se ha respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes utilizadas. Por lo tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado ni total ni parcialmente.
- 3) El trabajo de investigación no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- 4) Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por lo tanto los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De identificarse la falta de fraude (datos falsos), plagio (información sin citar autores), autoplagio (presentar como nuevo algún trabajo de investigación propio que ya ha sido publicado), piratería (uso ilegal de información ajena) o falsificación (representar falsamente las ideas de otro), asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normalidad vigente de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 19 de diciembre de 2019



Lusverly Luis Rojas Moron

DNI N° 42781443

# Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Página del jurado .....	iv
Declaratoria de autenticidad .....	v
Índice .....	vi
Índice de figuras .....	viii
Índice de tablas .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Realidad problemática. ....	1
1.2. Trabajos previos. ....	6
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	7
1.4. Formulación del problema.....	16
1.5. Justificación del estudio. ....	16
1.6. Hipótesis.....	17
1.7. Objetivos.....	17
<b>II. MÉTODO.....</b>	<b>18</b>
2.1. Diseño de investigación:.....	18
2.2. Población y muestra: .....	19
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad: .....	20
2.4. Validez y confiabilidad.....	20
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>

3.1. Determinar las cargas térmicas en el interior del vehículo, para cuantificar el flujo de calor a extraer por el sistema de aire acondicionado. ....	22
3.2. Realizar el análisis termodinámico en los componentes del sistema de aire acondicionado por absorción de acuerdo con la carga térmica en el interior del vehículo liviano. ....	34
3.3. Dimensionar el elemento captador de calor en el interior del radiador del motor. ..	46
3.4. Realizar una evaluación económica, utilizando indicadores económicos, tales como VAN y TIR .....	60
<b>IV. DISCUSIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>68</b>
Acta de aprobación de originalidad de tesis .....	74
Reporte de turnitin.....	75
Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV .....	76
Autorización de la versión final del trabajo de investigación.....	77

## Índice de figuras

Figura 1. Movimiento del rendimiento en Km/Gal para vehículos menores .....	3
Figura 2. Circulación de ocupantes del servicio regular nacional 2015 .....	4
Figura 3. Emisión de CO <sub>2</sub> en el rubro vehicular .....	5
Figura 4. Circuito aire acondicionado automotriz .....	8
Figura 5. Ubicación de los elementos del aire acondicionado automotriz .....	9
Figura 6. Mecanismos del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor.....	10
Figura 7. Elementos del circuito de aire acondicionado del automóvil.....	11
Figura 8. Elementos del sistema de aire acondicionado automotriz.....	12
Figura 9. Diagrama eléctrico de aire acondicionado automotriz.....	13
Figura 10. Procesos termodinámicos del ciclo de refrigeración.....	14
Figura 11. Porcentaje de calor sensible. ....	25
Figura 12. Vista superior del techo de vehículo .....	27
Figura 13. Ciclo de refrigeración por absorción.....	34
Figura 14. Estado termodinámico al ingreso y salida del condensador .....	35
Figura 15. Estado termodinámico al ingreso y salida del evaporador.....	36
Figura 16. Estado termodinámico al ingreso y salida del equipo absorbedor .....	37
Figura 17. Estado termodinámico al ingreso y salida del equipo absorbedor .....	38
Figura 18. Circuito de refrigeración del motor.....	46
Figura 19. Intercambiador, coraza, tubos del radiador.....	48
Figura 20. Circuito de la conexión electrobomba.....	59



## Índice de tablas

Tabla 1. Evolución en consumos de combustibles en vehículos livianos.....	2
Tabla 2. Especificaciones técnicas de vehículos al instalar sistema de aire acondicionado...	22
Tabla 3. Carga de calor sensible.....	24
Tabla 4. Estados termodinámicos en la máquina de absorción. ....	39
Tabla 5. Propiedades del agua .....	40
Tabla 6. Entalpía de los estados termodinámicos.....	41
Tabla 7. Financiamiento de inicio de la tesis. ....	60
Tabla 8. Flujo caja .....	61

## RESUMEN

La presente investigación denominado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN PARA ABASTECER DE ENERGÍA AL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO EN VEHÍCULOS LIGEROS, 2019”, tiene como objeto de estudio aprovechar la energía calorífica que se disipa en el radiador del vehículo, como fuente de energía para el accionamiento del sistema de aire acondicionado por absorción; con lo cual no se tiene un consumo adicional de combustible, si es comparado con el sistema de aire acondicionado por compresión de vapor.

El estudio se inicia con la determinación de la carga térmica que se tiene en el interior de la unidad, utilizando las ecuaciones de transferencia de calor, se determinó que se requiere de 1608.29 Watt de energía a refrigerar, teniendo en cuenta el clima en donde se ubica, con 05 personas en el interior del vehículo, y una temperatura de climatización entre 18 y 21° Centígrados. Luego se hizo el análisis termodinámico en cada uno de los dispositivos del sistema, como es el caso del Colector de Calor (Generador). Es en el cual se obtiene la energía calorífica para el sistema; el Condensador, que es el elemento que cede energía al medio exterior, con lo cual el fluido refrigerante cambia de fase. El Evaporador, en donde se produce el efecto refrigerante, se requiere que el sistema sea capaz de extraer los 1608.29 Watt de energía calorífica.

Así mismo se hizo el dimensionamiento del elemento que capta el calor del radiador, que es un intercambiador de calor de coraza y tubos, por el lado de la coraza se encuentra el agua caliente proveniente del motor, y por el lado de los tubos el agua del sistema de refrigeración por absorción. El agua caliente proveniente del motor de combustión interna es almacenada en la tina superior del radiador del vehículo. Es decir que existe una diferencia de temperatura en el ingreso y salida de la tina del radiador de 15.1°C, la temperatura de ingreso del agua en la coraza es de 94°C y la temperatura de salida de la coraza es de 78.1°C.

Finalmente se hizo el análisis económico, utilizando indicadores como la tasa interna de retorno, el valor actual neto y la relación beneficio / costo.

**Palabras Claves:** Refrigeración por absorción, colector de calor, radiador del vehículo.

## ABSTRACT

The present investigation denominated: "DESIGN OF A SYSTEM OF REFRIGERATION BY ABSORPTION TO SUPPLY OF ENERGY TO THE SYSTEM OF AIR CONDITIONING IN LIGHT VEHICLES, 2019" has like object of study take advantage of the calorific energy that dissipates in the radiator of the vehicle, like source of energy for the operation of the air conditioning system by absorption; with which there is no additional fuel consumption, if compared to the air conditioning system by vapor compression.

The study begins with the determination of the thermal load that is had inside the unit, using the heat transfer equations, it was determined that 1608.29 Watt of energy is required to be cooled, taking into account the climate where located, with 05 people inside the vehicle, and an air conditioning temperature between 18 and 21 ° Celsius. Then the thermodynamic analysis was made in each of the system's devices, as is the case of the Heat Collector (Generator). It is in which the calorific energy for the system is obtained; The Condenser, which is the element that gives energy to the external environment, with which the refrigerant fluid changes phase. The Evaporator, where the cooling effect is produced, requires that the system be able to extract the 1608.29 Watt of heat energy.

Likewise, the dimensioning of the element that captures the heat of the radiator, which is a shell and tube heat exchanger, was made on the side of the shell is the hot water coming from the engine, and on the side of the tubes the water of the absorption refrigeration system. The hot water from the internal combustion engine is stored in the upper tank of the radiator of the vehicle. That is to say that there is a temperature difference in the entrance and exit of the radiator tub of 15.1 ° C, the water inlet temperature in the shell is 94 ° C and the exit temperature of the shell is 78.1 ° C.

Finally, the economic analysis was done, using indicators such as the internal rate of return, the net present value and the benefit / cost ratio.

**Keywords:** Absorption cooling, heat sink, vehicle radiator.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad problemática.**

#### **a) Problemática internacional:**

“Todo equipo del automóvil actual, su uso del aire acondicionado es indispensable, generando mayor consumo de gasolina con respecto a los que les falta el sistema de calefacción” (Unión Europea, 2014, pág. 4).

En buenos aires, al inicio del primer día del año dos mil quince, está prohibido utilizar HCFC, incluidos reusados, restructurados, como medio de limpieza y verificación de aparatos aún negociados anteriormente. Esos aparatos podrán continuar prendidos de manera ilimitada, que no sea constantemente útil llenar de oxígeno; este aplicara al sistema de aire acondicionado en automóviles de servicio privado y general.

(SECRETARÍA DE ESTADO DE CAMBIO CLIMÁTICO & Argentina, 2014).

Cuando realizo el estudio la sociedad de ingenieros automotrices de estados unidos descubrió, el uso constante del aire acondicionado gastará combustible, manejar con mayor velocidad, y la ventana descubierta, se relejará mayor el gasto de carburante. En todo coche de inyectores electrónicos, su gasto del carburante será mínimo, si calculamos en relación de su recorrido km/gal. de circulación , será poco la utilización de carburante con respecto a la solicitud de energía convencional, electrónica, como medio alterno de energía que necesité el coche; éstos vehículos tienen comúnmente el aire acondicionado por compresión de vapor, utilizan una cantidad pequeña de energía producida por el encendido del automóvil, generando el movimiento del mecanismo mecánico del sistema de aireación, aumentando dicho gasto en la gasolina, es de acuerdo al funcionamiento y los medios ambientales del interior del vehículo automotriz. (Society of Automotive Engineers, 2014).

El mayor gasto de gasolina en los coches para varias ciudades este será un factor negativo, referente al nivel económico es mayor, tomando importancia la comodidad y la tranquilidad. (Unión Europea, 2014, pág. 4).

Cuando aumenta el calor podrán disgustar del confort ideal. 24°C y 28°C una humedad referida a 34% y el 64%. Con acceso constante de aireación produce la conducción más firme, nos permite restablecer la seguridad así mismo el no empañamiento de las lunas. También, dicho circuito de calefacción retiene los olores nauseabundos, el polvo, partículas suspendidas en el ambiente esto permite y garantiza que siempre lleguen a su ambiente frescos sin calor.

*Tabla 1. Evolución en consumos de combustibles en vehículos livianos*

Año de Fabricación	Consumos de Combustibles Km/Gal.	
	Tiene aire Acondicionado	No tiene aire Acondicionado
2002	34	40
2003	35	42
2004	35	41
2005	35	42
2006	36	43
2007	36	43
2008	36	43
2009	37	44
2010	37	44
2011	38	45
2012	38	45
2013	39	46
2014	39	46

*Fuente: Chancafe, 2016*

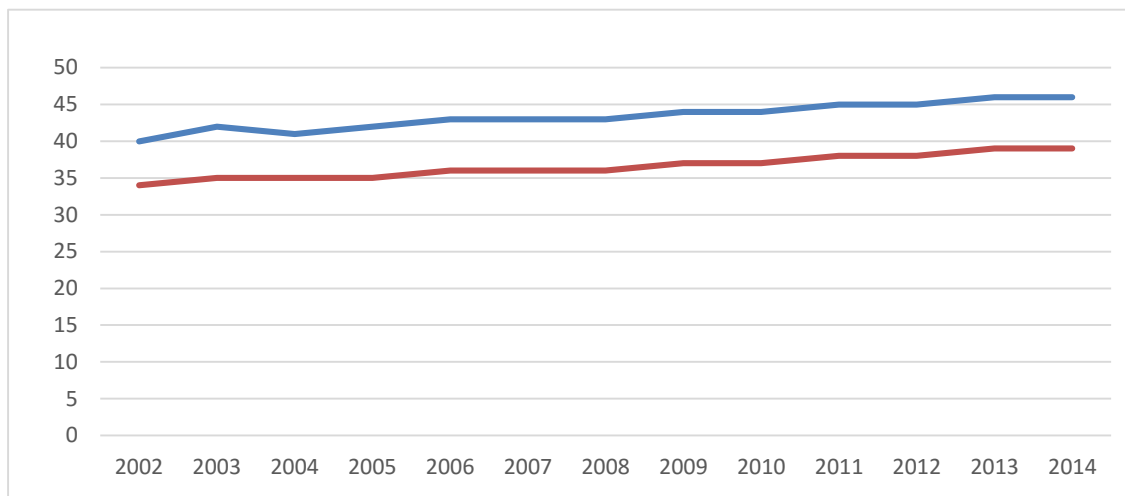


Figura 1. Movimiento del rendimiento en Km/Gal para vehículos menores

Fuente: Chancafe, 2016

Esta imagen 1, apreciamos unos parámetros de promedios, rendimientos de gastos del carburante, durante el año 2002, se aparecía una tecnología en el sistema de inyección moderna de combustible, la cual nos permita utilizar la cantidad mínima de carburante por el vehículo, obteniendo un gasto indicado de 40 Km/galón para coches menores sin el aire acondicionado, así mismo 35 Km/gal. en aquellos automóviles que prenden el sistema de aeración del vehículo.

Pero, durante todo el 2014, se fue mejorando, teniendo una utilidad de 45 Km/gal y de 38 Km/Gal, sin utilizar, utilizando el aire acondicionado siempre. Se refleja mucha desigualdad para ambos casos, es por el alto gasto de energía que se necesita para accionar el aire acondicionado.

#### **b) Problemática nacional.**

Nuestra zona costera de nuestro país muestra el alto número en coches que usan el aire acondicionado, es por el lugar caliente; dicho muestreo del ministerio de transportes y comunicaciones, durante los años 2011 a 2015, dicho lugar, la cantidad de viajeros fue en aumentó del 17 al 19.5 millones de viajeros, tomaron su transporte por carretera. (MTC, 2015, pág. 6).

Para viajar de dicho pueblo a otro pueblo en la costa del país, entre otoño y primavera, sin contar con aire acondicionado en los vehículos, genera incomodidad a los pasajeros, por el tiempo de viaje que es de cuatro horas, siendo toda condición de ventilación compleja y la temperatura presenta parámetros mayores a los 31° esta temperatura se evalúa dentro del automóvil y toda la carga térmica que contiene, el factor temperatura sera 34°C.

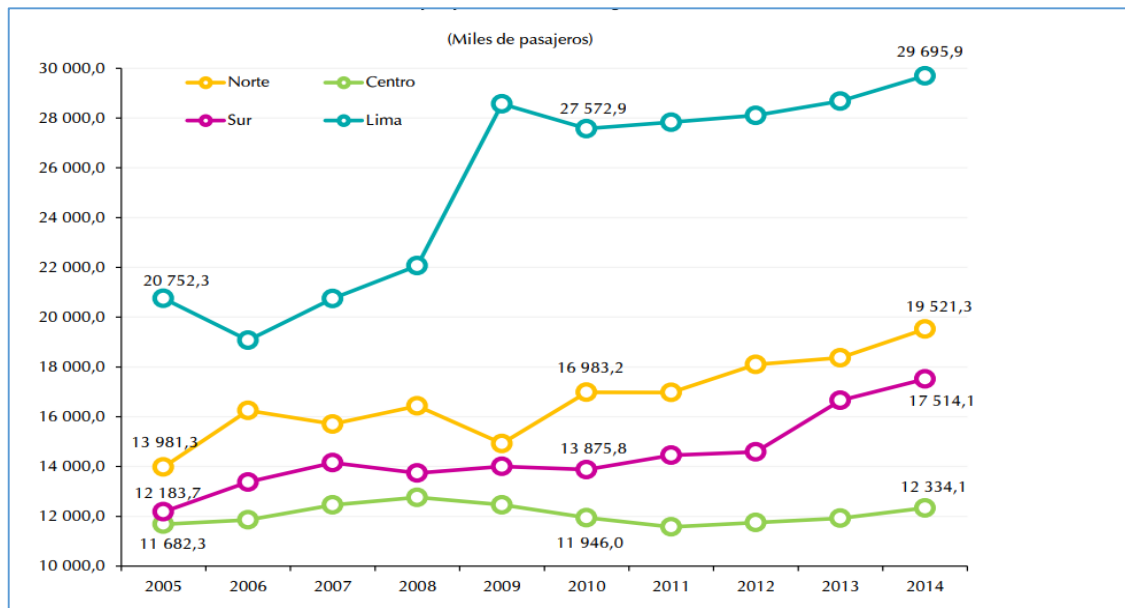


Figura 2.Circulación de ocupantes del servicio regular nacional 2015

Fuente: Protransporte 2016

En Lima, Arequipa, Trujillo y Chiclayo, la cual son las 4 importantes localidades de Perú, los agentes de prestigiosas tiendas de carros facilitan dichos automóviles, con el aproximado de 80% que tienen equipado el aire acondicionado, pues genera comodidad en los ocupantes, pero en los registros vehiculares, en todos ellos muestra un alto aumento de gasolina por el uso del aire acondicionado, que constantemente lleva el sistema por compresión de vapor. (Protransporte, 2014, pág. 23)

La generación de humos tóxicos, producidos per CO<sub>2</sub>, CO, HC sin quemar, y los NO<sub>2</sub>, todo CO<sub>2</sub> es un oxígeno incoloro al quemado, dado a la inflamación ideal de carburante; el incremento de carburante se da por la mala operación del chofer, la cantidad de dióxido de carbono se aumenta a la misma proporción, en la imagen cuatro, muestra un índice de proyección de humo negro como dióxido de carbono en el rubro automovilístico, en diferentes marcas para coches.

Valores proyectados al año 2025				
Tipo de vehículo	Cantidad	Toneladas de CO <sub>2</sub> /año	Toneladas de CO <sub>2</sub> por auto/año	
			Por auto	Reducción (%)
Auto	3 096 705	6 038 574	1.95	56%
Ómnibus	70 906	2 127 168	40	30%
Camión	205 688	6 170 652	40	30%
Remolcador	40466	1 213 992	40	30%
TOTAL	3 413 765	15 550 386	11 (PROM)	36% (PROM)

Crecimiento anual de vehículos livianos en 10% con emisiones de 130 g CO<sub>2</sub>/km. Crecimiento anual de vehículos pesados en 20%

Figura 3. Emisión de CO<sub>2</sub> en el rubro vehicular

Fuente: Protransporte

### C) Problemática Local

En la capital de la amistad, ocho de cada diez automóviles que recorren todo el pueblo y fueron comprados cuentan con el sistema de calefacción, un 90% de ellos mantienen el sistema convencional de confort, muestran 2 parámetros del consumo, parámetro uno con el aire acondicionado apagado y pérdidas específicas mayores a 44 Km/galón con una capacidad de 1100 y 1290 cc; prendido el sistema de aeración el promedio del gasto de la gasolina será mínimo 35 Km/Galón.

Esto, genera menor costo económico, seda mayor su acogida en época de verano, el requerimiento de aire acondicionado será muy idóneo para la comodidad del ocupante.

Muchos vehículos, les falta incorporar el aire acondicionado, el evaporador y más accesorios, dicha instalación es costosa, bordean entre los 600 y 800\$, el costo dificulta la instalación, a pesar de existir la necesidad.

Cuando, se usa el automóvil y la ventana descubierta, disminuye dicho calor, esto genera un problema, generando disconformidad en los pasajeros, problemas de salud, por la corriente de aire.



## 1.2. Trabajos previos.

(Matarazzo, 2014), en su tesis denominado: **“REFRIGERACIÓN LOCAL DE VEHÍCULOS CON CALOR EXCEDENTE, presentado a la ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN UNIVERSIDAD DE CANTABRIA”.**

para instalar el aire acondicionado tradicional basado del periodo térmico de compresión costara 1470 €. También, la instalación un disyuntor de absorciones debe costar 2560 €. genera las diferencias del costo entre 940 €, redondea 1100 €.

Muchos estudiosos indican al prender el sistema de calefacción en el coche genera excedente de 7% como gasto del carburante. Empleando el líquido de absorción muestra una ventaja perder gasto adicional. Esto significado tardara, encendiendo constantemente el aire acondicionado, 3,7 años en liquidar la disconformidad del valor de la colocación.

El mecanismo de climatización por absorción será mejor propuesta, para dicho automóvil cuenta con condiciones de conformidad para los ocupantes.

Es económico y conveniente para producir climatización para todo el automóvil, se compara el mecanismo de compresión de vapor, donde los HP que necesita el mecanismo este factor crea un mayor consumo de corriente.

Una de la razón es la pérdida del líquido de trabajo, el sistema de climatización por absorción utiliza refrigerante y contenido de F, C, ClO<sub>2</sub>, estos son adquiridos del medio ambiente, genera efecto adverso al medio ambiente.

(González, 2014) , en su tesis de investigación denominada **“Propuesta de un sistema de refrigeración por absorción para la climatización del edificio administrativo de la termoeléctrica de Felton”.** presentado a la Facultad de Ingeniería Mecánica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Cuba,

La caracterización de los mecanismos importantes que son parte del sistema se analizan la metodología de cálculo para su verificación. Se establecieron un conjunto de procedimientos de cálculos como la determinación del rango del ciclo del enfriamiento y apoyo de bosquejo en refrigerante  $\text{NH}_3$ . Mediante el balance de peso, calorías todo concluyó para transferencia de energía, de  $\text{NH}_3$  y necesita como medio de funcionamientos. Se determinó el área del cambio entre temperaturas con el principio termodinámico para evaporización, condensación, absorción y generadores. este sugiere una planta de 3 etapas de enfriamiento del  $\text{H}_2\text{O}$  por absorciones, suministradas el  $\text{H}_2\text{O}$  temperada, dicha marca ABSORSISTM S. L.R, Model WFH SC20, y una potencia eléctrica de 108 kilovatios.

**Marco del Cano (2014), en su tesis de investigación, denominado “Prototipo de máquina frigorífica de absorción de  $\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$  de 2 efecto condensada por aire”, presentada a la Universidad Carlos III de Madrid,**

Por una parte, caracterizo y definió en similitud y funcionamientos para la máquina de absorción de Litio, bromo/  $\text{H}_2\text{O}$  de 2 tiempos, como condensados entre  $\text{H}_2\text{O}$  como condensada para aire, identifico el término del factor principal que propicien un encendido y la finalización.

En otro punto, adaptar los conocimientos obtenidos en la simulación teórica junto al desarrollo de un bosquejo novedoso en 2 muestras una experimental de absorciones de Litio Bromo/ $\text{H}_2\text{O}$ , de 2 efectos condensado por oxígeno dicho propósito logran unos funcionamientos eficientes, competitivo con la máquina comercial.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Sistemas con Aire Acondicionado Automotriz.**

“Esa adecuación del viento automotriz constata en reajustar la condición del viento con respecto al grado. (aire acondicionado), mojado y limpio, dentro del salón del vehículo automotriz, que da sensación de confort al pasajero” (Castillo, 2014, p.9).

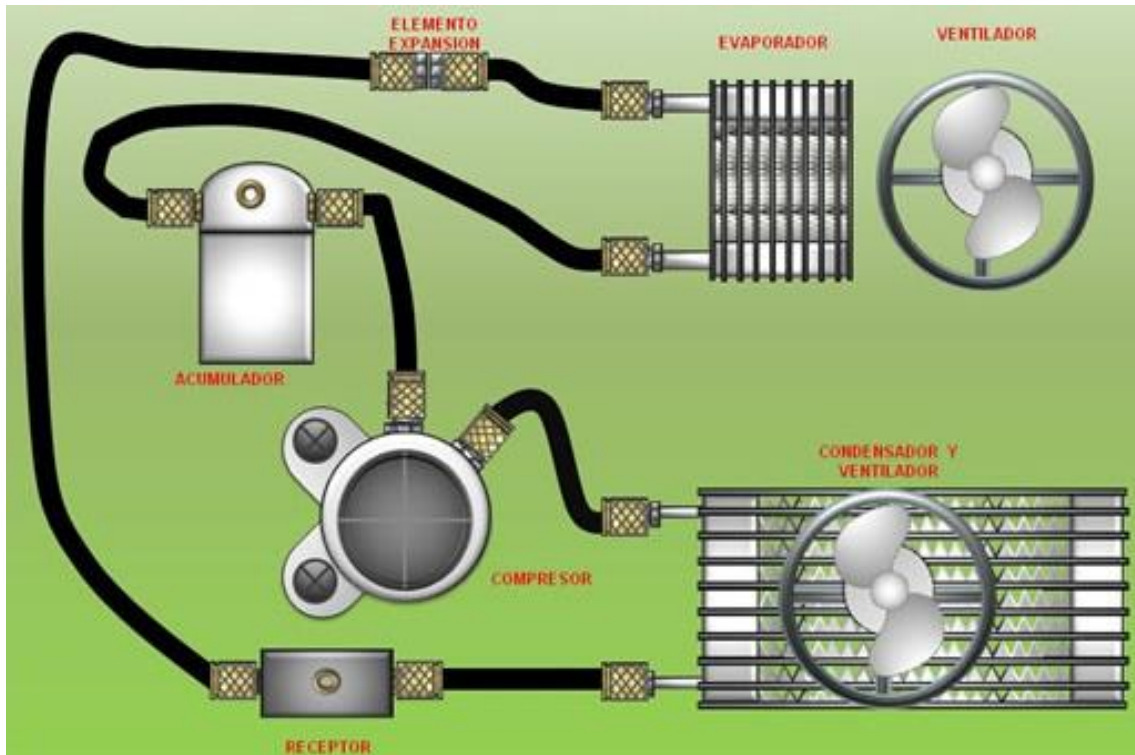


Figura 4. Circuito Aire acondicionado Automotriz

Fuente: Toyota, 2016

## Control de la Temperatura

Toda energía es el fenómeno físico de radiación está relacionado principalmente con el movimiento molecular. Toda exposición al calor un líquido, la molécula se mueve muy rápido, genera esta energía: el sol. Si lo refrigeramos, el movimiento de la molécula se paraliza, disminuyendo la temperatura. (Castillo, 2014, p.11).

## Control de la humedad

el humedecimiento, está definida como la mayor H<sub>2</sub>O que contiene dicho aire se aprecia en situaciones de baja temperatura. Esa teoría está relacionada a la comodidad para los pasajeros. Todo oxígeno ambiental es controlado para controlar el humedecimiento relativo preestablecido mediante la humedad en el espacio. (Castillo, 2014, p.14).

## **Limpieza y Distribución**

La obtención de la comodidad deseada es importante la distribución del aire la circulación uniforme por el espacio, sin generar corriente desagradable.

“El desecho en cada partícula de suciedad será primordial en la salud. Utilizar la correcta filtración del aire tiene la ventaja primaria de un mecanismo de climatización” (Castillo, 2014, p.15).



Figura 5. Ubicación de los elementos del aire acondicionado automotriz

Fuente: Toyota, 2015

### **1.3.2. Ciclos en Refrigeración por compresión de vapor**

“Mediante el principio de transferencia de calor el refrigerante recircula y pasa por muchos estados, el cambio es denominado como proceso, en el cual el líquido refrigerado intercambia energía con el ambiente externo” (Díaz, 2015, p.31)

Con el cambio de estado la materia en cual el gas fluye por los conductos de descarga hacia el aparato para condensar, y evacua el cuerpo caliente para el oxígeno helado las aspas parte en el aparato para condensar hacen recorrer alrededor del mecanismo. Con el oxígeno cálido evacuan calor entre el oxígeno más helado, al reducir los grados hacia el nuevo grado de saturación y determina la nueva presión y el gas se transforma, retornando al estado licuación. Adelante el líquido alcanza su punto final para condensar todo el oxígeno luego se sub enfría. (Díaz, 2015, p.33)

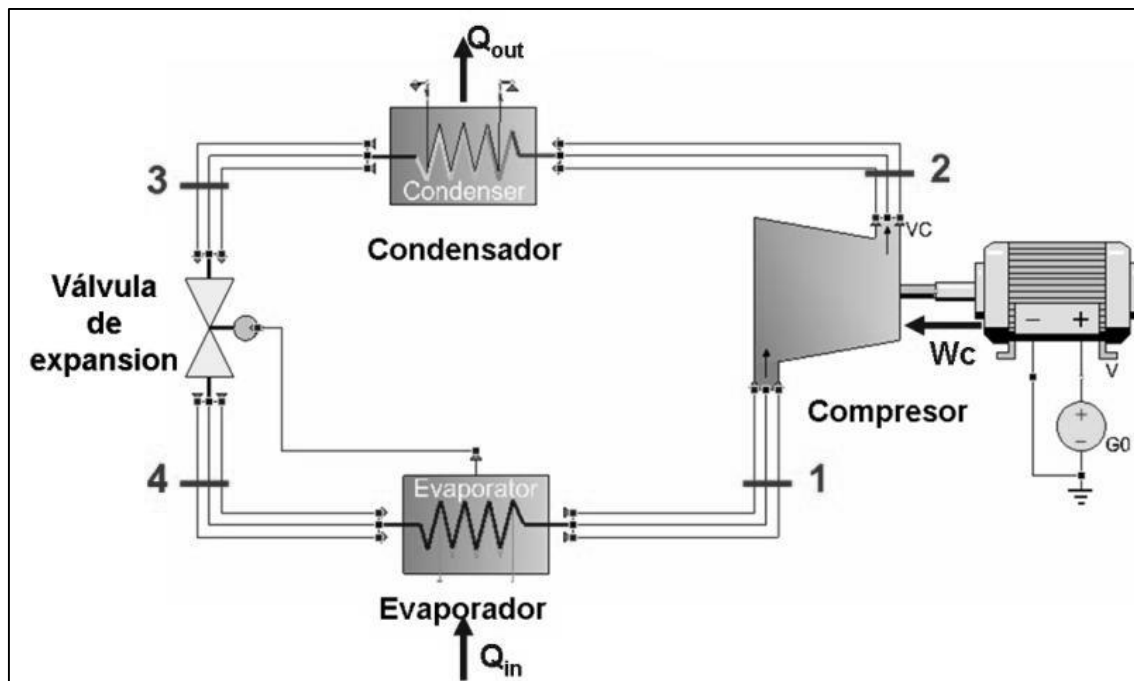


Figura 6. Mecanismos del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor

Fuente: Toyota, 2015

Mediante esa imagen 6. Observamos el esquema del mecanismo de enfriamiento por compresión, inicia comprimiendo todo vapor del refrigerante desde el estado térmico uno y dos, el compresor se mueve por el motor eléctrico, cuando el gas es comprimido a una altísima presión empieza en el condensador, este da energía al medio; automáticamente el gas ingresara por la vía de expansiones donde se alivia la presión, para entrar al evaporador, donde transfiere caloría en los medios de enfriamiento. (Díaz, 2015, p.34)

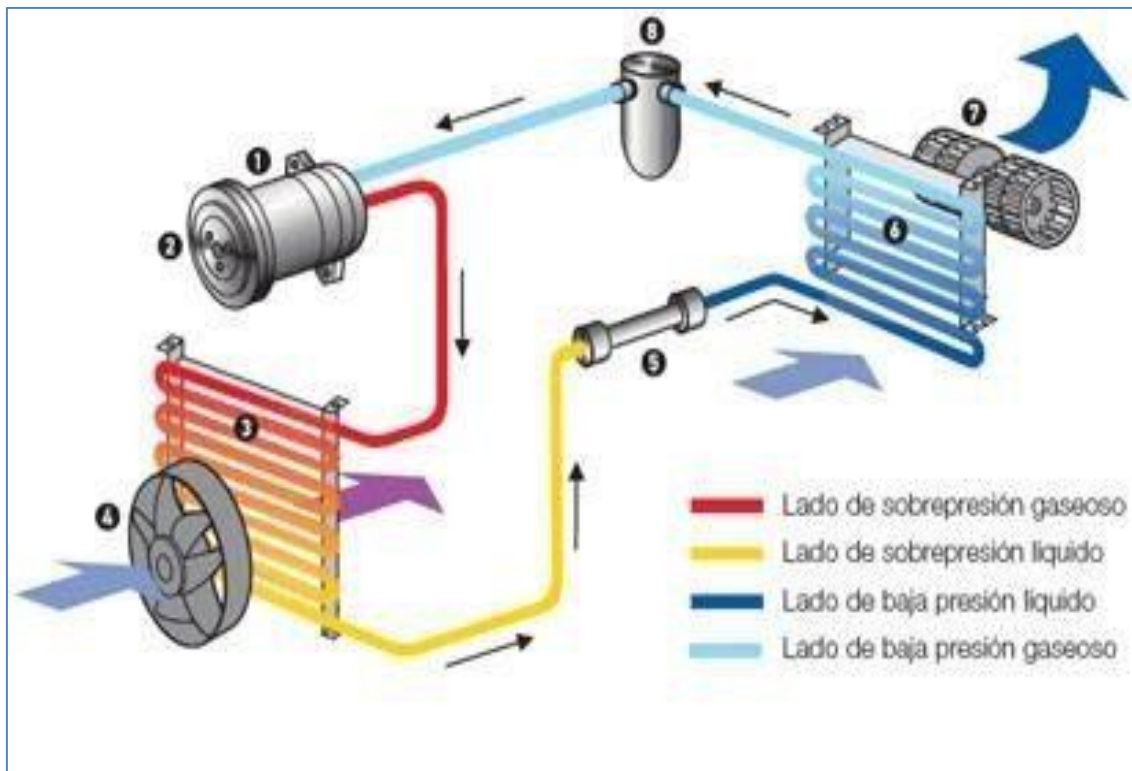


Figura 7. Elementos del circuito de aire acondicionado del automóvil

Fuente: Toyota, 2015

Los elementos del circuito de aire acondicionado están agrupados con elementos del lado que proporciona enfriamiento, lado de presión mínima del líquido y lado de mínima presión gaseoso.

1. Compresor
2. Embrague
3. Condensador
4. Aspas del condensador
5. Válvula de mariposa
6. Evaporador
7. Soplador de aire
8. Acumulador

En la figura ocho, apreciamos el detalle y las piezas del circuito del aire automotriz, se observan elementos que son utilizados cuando la sustancia refrigerante está en la fase líquida o fase vapor.

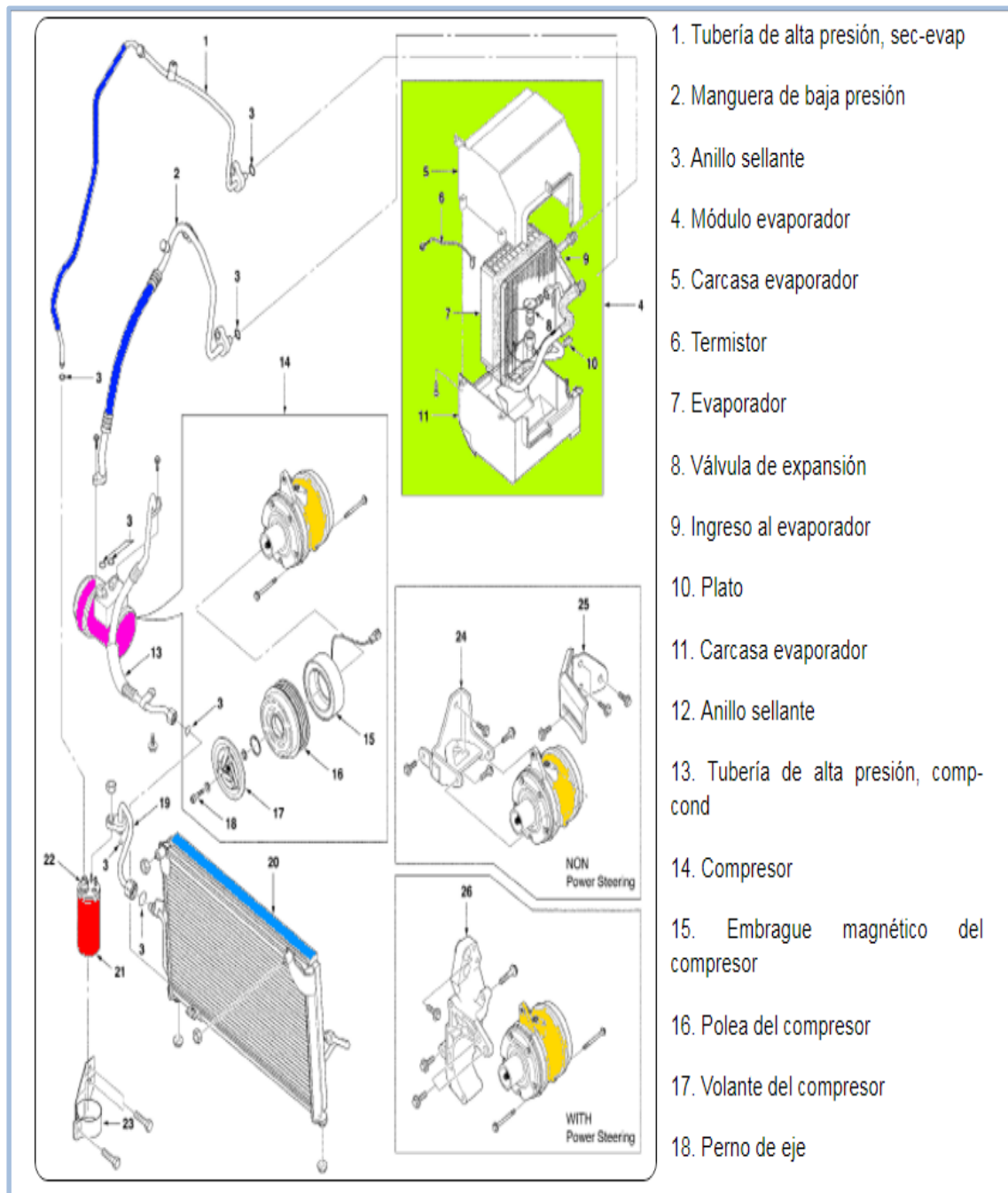


Figura 8. Elementos del sistema de aire acondicionado automotriz.

Fuente: Toyota,2015



En la figura 9, se observa el esquema eléctrico que controla el funcionamiento del aire acondicionado en un vehículo automotriz, el cual es controlado por la unidad de control electrónico, que activa y desactiva los relés de los sensores, que finalmente enviarán información para después de ser analizadas en el microprocesador de la computadora.

Del vehículo, ésta emite señales eléctricas hacia los actuadores del vehículo. Los componentes eléctricos lo conforman el relé principal, fusibles, motor eléctrico entre otros.

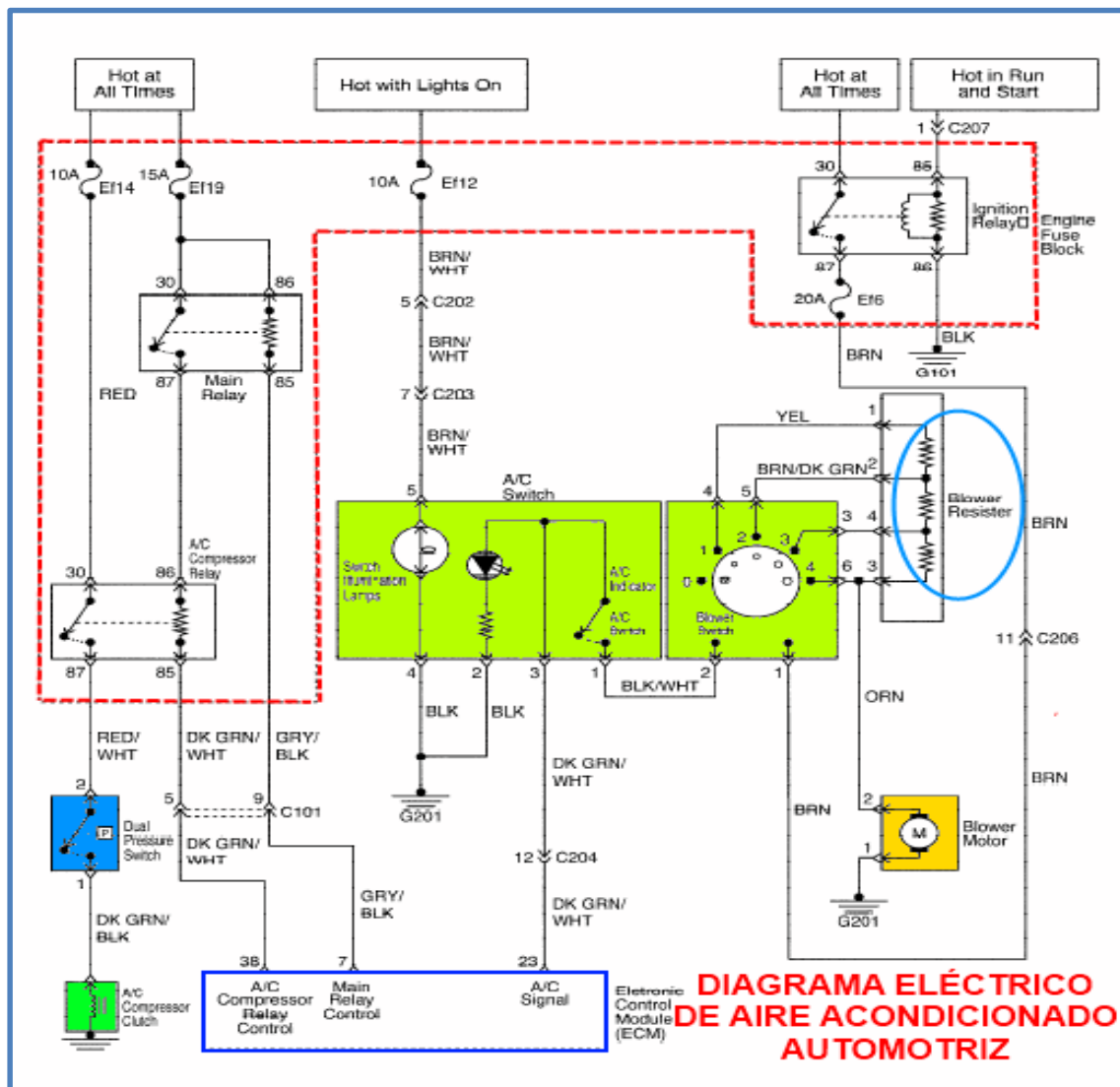


Figura 9. Diagrama eléctrico de aire acondicionado automotriz.

Fuente: Toyota, 2015



### 1.3.3. Proceso de compresión de vapor.

“Este indicador confirma dicho refrigerante suelta los evaporadores y rápidamente será achatado con presión y temperatura idónea mayor. todo compresor emite 2 funcionamientos mediante la etapa de climatización: separar los gases de pequeñas presiones generado por el evaporado rizador”. (Castaño, 2010, pág. 23).

Fuente: Toyota,2015

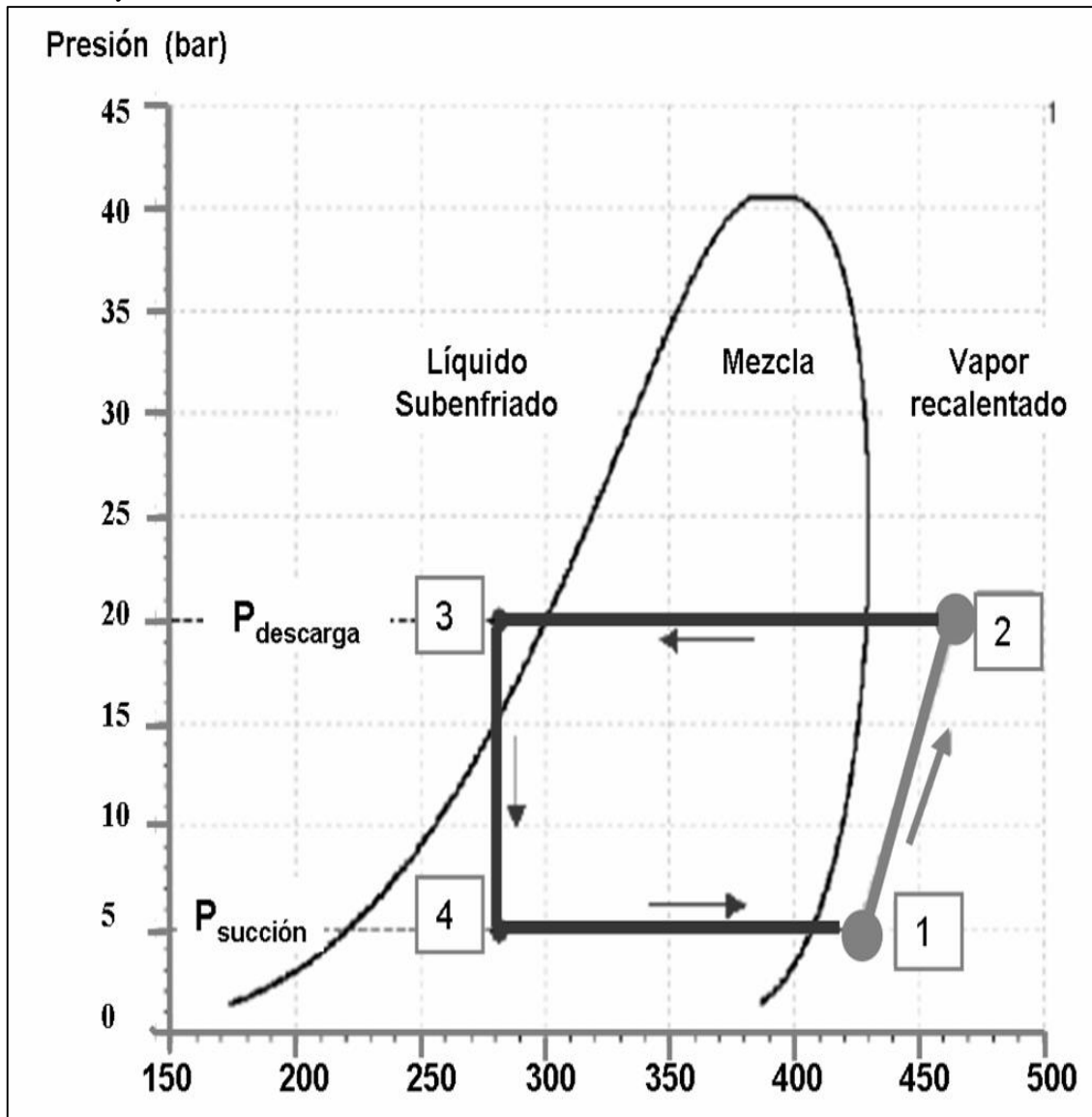


Figura 10. Procesos Termodinámicos del ciclo de refrigeración

Fuente: Toyota,2015

### **1.3.4. La energía Solar**

Es una energía renovable que se obtiene de los rayos solares; la energía que produce el sol es aprovechado por el ser humano. El concepto de energía ha tenido muchas apreciaciones, el significado es único. La ingeniería, lo define como las fuerzas que permiten realizar unos trabajos, los físicos dicen que la energía es la contemplar una determinada labor.(Ministerio de Energia Y Minas, 2014, pág. 17).

Todo incremento del costo en los combustibles fósiles y la problemática del calentamiento de la corteza terrestre es importante un cambio en forma de vida de las personas, ser más eficientes con el uso de la energía por ello el ministerio del ambiente en la ley 27348

y su reglamentación, indica el uso de energías renovables, incentivando el uso eficiente y un costo menor de su generación. (Martínez, 2016, p.4)

mediante la concientización y el empleo de nuestros conocimientos se logrará iniciar medios que logren disminuir el consumo de fuentes de energía renovables y no renovables y lograr la eficacia en su instalación. El uso eficaz en el suministro eléctrico es rentable tanto a la empresa como al consumidor final. (Martínez, 2016, p.4)

La energía del sol está compuesta por una porción de rayos solares que emite el sol y captado en la Tierra **(Pareja, 2015, p14).**

El en planeta tierra se recibe la totalidad de los rayos solares y esto no se aprovecha totalmente. Según el Instituto Geofísico del Perú el 0.22% es la radiación directa, el 0.20% la radiación es nula el 0.28% es perdida **(Instituto Geofísico del Perú, 2016, p2).**

#### **1.4. Formulación del problema.**

¿Cómo diseñar un sistema de refrigeración por absorción para abastecer de energía al sistema de aire acondicionado en vehículos ligeros, 2019?

#### **1.5. Justificación del estudio.**

##### **1.5.1. Justificación tecnológica.**

El motor de combustión interna pierde energía calorífica en el sistema de refrigeración del motor, por lo tanto, el aprovechamiento de esta energía con el sistema de refrigeración por absorción se justifica tecnológicamente mi proyecto. En promedio del radiador disipa entre el 25 y 35% del calor que se genera en el motor, por lo que su aprovechamiento incrementa la eficiencia térmica del motor de combustión interna.

##### **1.5.2. Justificación social.**

Porque teniendo vehículos con aire acondicionado, los pasajeros tendrán mayor confort al momento de realizar sus viajes, de esa manera se hace menos estresante el tiempo en el cual permanecen dentro de la unidad; es diferente viajar con el sistema de confort adecuado, las ventanas abiertas, debido a que el golpe del aire afecta a los pasajeros.

##### **1.5.3. Justificación económica.**

Estos circuitos convencionales de aire acondicionado son por compresión de vapor, con lo que los consumos del combustible se incrementan y por ende los costos de operación de la unidad, por lo tanto, se justifica económicamente la elaboración del proyecto. Normalmente un automóvil liviano con el sistema de calefacción convencional tiene un gasto entre el 20 y 25% más de combustible.

##### **1.5.4. Justificación Ambiental.**

Al no consumir energía adicional del motor, no se incrementa los niveles de contaminación de los gases quemados, siendo uno, NO<sub>2</sub> el principal oxígeno que inhere por la mezcla combustible aire, al ser emitido entre el medio ambiente, tiene impacto en el incremento del efecto invernadero, con lo cual ambientalmente se justifica la tesis.

## **1.6. Hipótesis**

El diseño del sistema de refrigeración por absorción determina el abastecimiento de energía al sistema de aire acondicionado en vehículos ligeros, 2019

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1 Objetivo General**

Diseñar Un Sistema De Refrigeración Por Absorción Para Abastecer De Energía Al Sistema De Aire Acondicionado En Vehículos Ligeros, 2019.

### **1.7.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar las cargas térmicas en el interior del vehículo, para cuantificar el flujo de calor a extraer por el sistema de aire acondicionado.
- Realizar un análisis termodinámico en los componentes del sistema de aire acondicionado por absorción de acuerdo con la carga térmica en el interior del vehículo liviano.
- Dimensionar el elemento captador de calor en el interior del radiador del motor.
- Realizar una evaluación económica, utilizando indicadores económicos, tales como VAN y TIR

## **II. MÉTODO**

### **2.1. Diseño de investigación:**

**No experimental:** Durante el proceso de investigación no se pretende realizar variaciones en la variable independiente se mostrará las observaciones del fenómeno idéntico a su contexto.

#### **2.1.2. Variables, operacionalización:**

#### **2.1.3. Variable independiente:**

Diseño de un sistema de refrigeración por absorción

#### **2.1.4. Variable dependiente:**

Sistema de aire acondicionado en vehículos ligeros

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Variable Independiente.</b> Diseño de un sistema de refrigeración por absorción	Mediante la agrupación de mecanismos que tienen la misión de transferencia calorífica en energía eléctrica para accionar al sistema del aire acondicionado.	Consiste en calcular, dimensionar y seleccionar los elementos electromecánicos, teniendo en cuenta la eficiencia como un indicador de diseño.	Semiconductores. Ciclo de Aire Acondicionado. Cargas Térmicas.	Temperatura del motor Calor. Flujo másico	Guía de observación	Kelvin Watt Kg/s
<b>Variable dependiente.</b> Sistema de aire acondicionado en vehículos ligeros	Sistema que brinda climatización en el automóvil a temperatura adecuada es controlado por los usuarios.	El sistema de aire acondicionado utiliza energía calorífica y agua del radiador.	Estados Termodinámicos. Capacidad de refrigeración.	Tiempo de funcionamiento Temperatura del interior del vehículo	Guía de observación	Horas. Kelvin

## 2.2. Población y muestra:

### 2.2.1 Objeto de análisis (OA):

Transformar la energía solar como medio y alimentación del sistema del aire acondicionado.

### 2.2.2. Población (N):

Vehículos ligeros, menores a 3,5 TM, de año de fabricación 2014 en adelante.

**2.2.3. Muestra (n):** Se utilizará 4 automóviles livianos con cilindrada 1300cc, de los años de fabricación del 2014, 2015, 2016 y 2017.

### Tamaño de muestra:

$$n = \frac{Z^2(N)(p)(q)}{Z^2(p)(q) + e^2(N - 1)}$$

N = Poblaciones (440)

p = Proporción máxima a favor de la muestra 10% (0.1)

q = Proporción máxima que afecta a la muestra 10% (0.1)

Z = Nivel de confianza de estudio 94% (1.88)

e = Márgenes del error de muestras (0.09)

Remplazo en la fórmula para encontrar su dimensión de mi muestra:

$$n = \frac{1.88^2(440)(0.1)(0.1)}{1.88^2(0.1)(0.1) + (0.09)^2(450 - 1)}$$

$$n = 4.3310$$

$$n = 4 \text{ vehiculos}$$

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad:

Utilizare la siguiente técnica de investigaciones.

#### 2.3.1 técnicas

TÉCNICA	USO	INSTRUMENTO
Verificación de documentos.	Se revisará el trabajo de Investigación, artículos científicos, sistemas climatización.	Evaluación Documentaria.
Observación.	realizar una medición del nivel de los rayos del sol.	Guía de observación.

Elaboración propia.

#### 2.3.2 Instrumento de recolección de datos.

##### a. Guías de observación.

Su empleo sera apuntar en ella la medición del valor y la temperatura al ingreso y salida del radiador del vehículo.

##### b. Guía de análisis de documento.

Revisarán el trabajo la investigación, artículos científicos, características técnicas de sistema de refrigeración por absorción.

### 2.4. Validez y confiabilidad

#### 2.4.1. Validez.

Lo validado de este trabajo de investigación es concerniente la captación idónea, cuidadosa, exhaustivo en el desarrollo metodológico y resultado que se obtendrán con el análisis científico, en uso de la energía calorífica del radiador para el confort del interior del vehículo liviano.



#### **2.4.2. Confiabilidad.**

Un correcto desarrollo del trabajo de investigación se tomará la encuesta a los dueños de coches livianos también a especialistas de reparación de sistema de aire acondicionado. El resultado de esta información nos conllevará a comparar las muestras con parte de la información requerida.

#### **2.5 Métodos de análisis de datos:**

La realización de conversación, guías de observación esos valores lo registrarán con forme con los medido de esa fuente solar. La examinación de los apuntes del análisis de documentario obtenido del MINEM, Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. y escuelas que faciliten información concerniente al proyecto. Estas escuelas nos facilitan documentación concerniente a la tesis.

#### **2.6 Aspectos éticos:**

Como resultado del proyecto planteado se realizará en base de almacenamiento de información recopilada, nada de manipular sus valores ni cualidades, el cálculo que realice descrito por la teoría científica existente, en este caso al proceso de enfriamiento y climatización.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Determinar las cargas térmicas en el interior del vehículo, para cuantificar el flujo de calor a extraer por el sistema de aire acondicionado.

##### 3.1.1. Características técnicas del vehículo.

El vehículo seleccionado para el diseño de refrigeración por absorción con energía solar dicha unidad que no tiene incorporado el sistema de calefacción, como el caso del Nissan Sentra del año de Fabricación 2015.

Esta unidad vehicular, tiene motor con inyección electrónica de combustible, de cilindrada 1800cc, el consumo específico de combustible entre 38 Km/galón en ciudad y 52 Km/galón en carretera.

Tabla 2.Especificaciones Técnicas de vehículos al instalar sistema de aire acondicionado.

<b>MOTOR</b>	
Tipo	MR17 de 4 cilindros en línea, 15 válvulas DOHC
Alimentación	Inyección Electrónicamente Multipunto CVTC
Potencia máxima (hp / rpm)	129 / 6,000
Torque máximo (kgm / rpm)	17.69 / 3,600
<b>DIRECCIÓN</b>	
Tipo	Asistida electrónicamente sensible a la velocidad
<b>TRANSMISIÓN</b>	
Tipo	Caja de cambios de 5 velocidades Automática X-Tronic CVT (Continuamente variable)
<b>FRENOS</b>	
Tipo	Sistema de frenos ABS + sistema (EBD)
Eje delantero	Disco ventilado
Eje posterior	Tambor
<b>SUSPENSIÓN</b>	
Eje delantero	Suspensión tipo McPherson
Posterior	Barra de torsión con barra estabilizadora
<b>COMBUSTIBLE</b>	
Tipo	Gasolina
<b>DIMENSIONES</b>	
Distancia entre ejes (mm)	2,500
Largo (mm)	4,513
Ancho (mm)	1,852
Alto (mm)	1,592
Radio mínimo al piso (m)	4,2

Fuente: Nissan,2016

### 3.1.2. Cargas térmicas.

#### a. Cargas térmicas en el interior de la cabina.

El vehículo posee 5 asientos incluyendo la del conductor, por ser un vehículo con carrocería Sedan, tiene una maletera en la parte posterior que no forma parte del salón interior del vehículo. En la parte delantera son dos asientos individuales, que son regulables de acuerdo con el confort de los pasajeros, con sus respectivos soportes para la cabeza del pasajero (cabecera del asiento).

Tiene 2 luminarias para iluminación interior, una ubicada en la parte superior de los asientos delanteros y la otra en la parte superior de los asientos posteriores.

El motor está ubicado en la parte delantera del vehículo, en posición transversal (utiliza palieres para el sistema de transmisión), en el cual el ventilador que está ubicado frente al radiador logra impulsar el aire para disipar el calor proveniente del motor; por lo cual el flujo de calor por radiación que llega hacia el salón del vehículo es percibido solo por los pasajeros ubicados en la parte delantera del vehículo.

Adicionalmente, en el interior del vehículo, se tiene el tablero de instrumentos, los cuales tienen incorporados circuitos electrónicos, con corrientes muy pequeñas (en miliamperios), con lo cual el calentamiento de estos dispositivos no es significativo.

El calor sensible que requiere cada dispositivo está en función a sus dimensiones, a la temperatura y al material constructivo, se determina con la expresión:

$$Q_s = \sum N^{\circ} * q_s * \Delta T$$

Dónde:

$Q_s$ : Calor sensible, en Watt.

$N^{\circ}$ : Número de elementos.

$q_s$ : Calor específico de cada elemento; el cual es determinado por el material constructivo del elemento. En el caso del cuerpo humano, dicho calor específico para una persona entre 80 y 100 Kg de peso es de 6.45 Watt/°C. Para el caso de las luminarias, el calor está en

función a la potencia activa que consumen, para una luminaria de 30 Watt, tendrá un calor específico de 3.2 Watt/°C-

Los asientos del vehículo están fabricados de tela de algodón, con relleno de material esponjoso y estructura metálica, con un valor de calor específico de 2.34 Watt / °C

$\Delta T$ : Variación de temperatura.

La variación de temperatura del medio ambiente y la temperatura a la cual se requiere refrigerar al objeto. La temperatura promedio en estación de verano en Chiclayo esta por los 33°C y la temperatura en el cual se consigue el confort térmico en el interior del vehículo es de 19°C, por lo tanto, la variación es de 14°C.

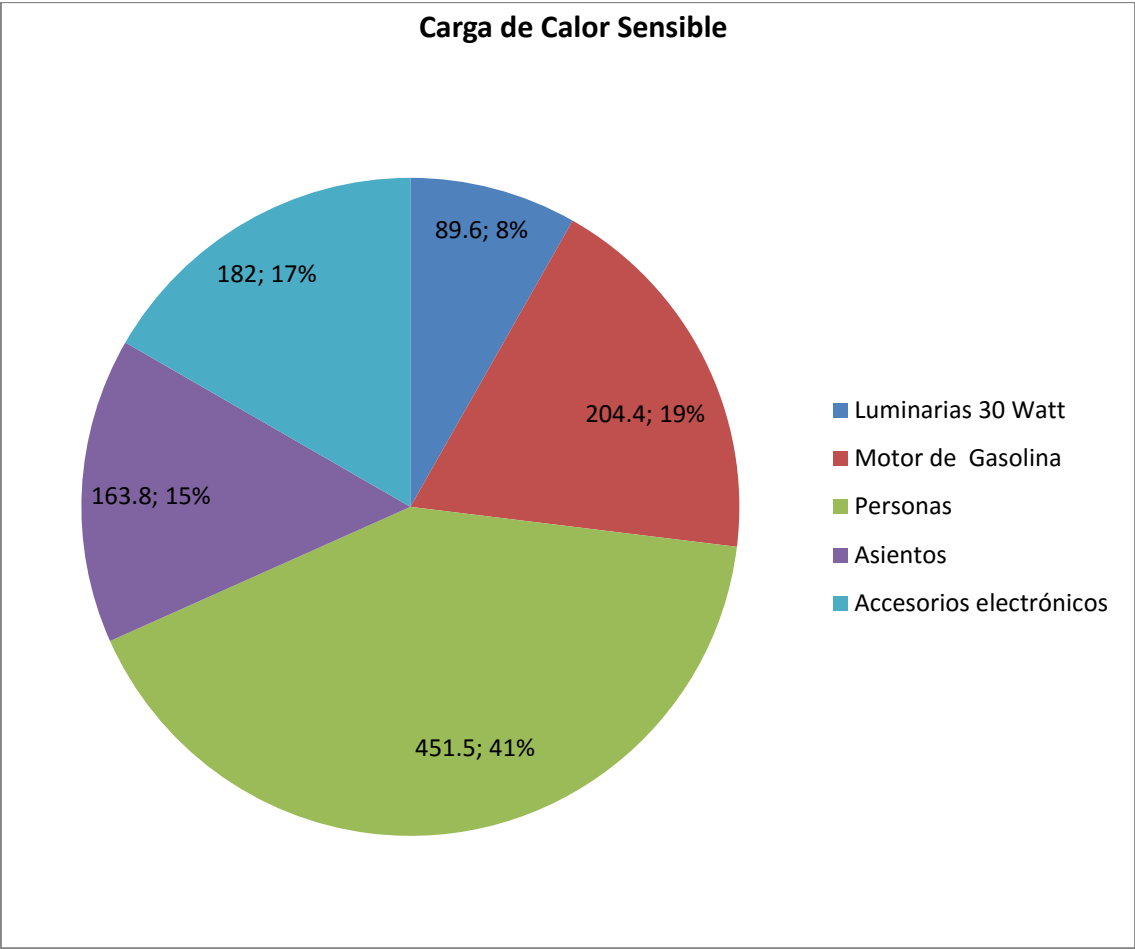
En función a ello, se determina en la tabla 2, el calor sensible que se requiere para tener a un valor de 19°C dentro del coche.

*Tabla 3. Carga de Calor Sensible.*

Carga de Calor Sensible					
Item	Cantidad	qs (Calor absorbido por carga Watt/°C)	Variación de Temperatura (32°C - 18°C)	Qs: CALOR Absorbido (Watt)	%
Luminarias 30 Watt	2	3.2	14	89.6	8
Motor de Gasolina	1	14.6	14	204.4	19
Personas	5	6.45	14	451.5	41
Asientos	5	2.34	14	163.8	15
Accesorios electrónicos	1	13	14	182	17
Total (Watt)				1091.3	100

*Fuente: Guía de Observación.*

Las cargas térmicas descritas en la tabla 3, tienen al calor por la presencia de 5 personas en la unidad vehicular, como el de mayor valor, con 451.5 Watt del total de 1091.3 Watt.



*Figura 11. Porcentaje de calor sensible.*

**Calor de cargas térmicas en %**

Fuente: Guía de Observación.

De la figura 11, se puede mencionar que el 41% (451.5 Watt) del calor sensible en el interior del vehículo es por el calor de las 5 personas que ocupan la unidad vehicular; 19% (204.4 Watt), es el calor sensible que se requiere por la sensación térmica ocasionado por la presencia del motor del automóvil. El 17% (182 Watt), calor sensible en los accesorios electrónicos, 15% (163.8 Watt) a los asientos y el 8% (89.6 Watt) de las cargas térmicas lo representan por la iluminación interior del vehículo.

## **b. Transferencia de Calor.**

El intercambio del calor de la parte externa hacia el interior el vehículo por conducción se realiza a través de la carrocería del vehículo, el cual está constituido por los elementos fijos como son el techo, piso y paredes, así como de los elementos móviles como es el caso de las puertas y ventanas de la unidad vehicular.

La ecuación del flujo de calor por conducción entre la carrocería del vehículo, se expresa por:

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

**Dónde:**

**Q:** Flujo de calor por conducción en Watt.

**U:** Conductividad térmica del componente estructural en W/m<sup>2</sup> por grados Kelvin de diferencia de temperatura entre la superficie exterior y la superficie interior del componente. (W/ m<sup>2</sup> °K).

El valor de la conductividad térmica está en función al material de la carrocería, siendo el acero, el material sintético, y los vidrios los utilizados.

Conductividad Térmica de material sintético: 2.53 W/ m<sup>2</sup> °K

Conductividad Térmica de Vidrio: 5.12 W/ m<sup>2</sup> °K

**A=** área del cuerpo estructural que está expuesto a la temperatura interna y la temperatura externa en m<sup>2</sup>.

**Δ T=** diferencia de temperatura entre la parte interna y el externa en grados °K. La temperatura del medio exterior es variable, y está en función a las condiciones climatológicas del lugar, así como también el tiempo de exposición. El valor de la temperatura que se considera es la temperatura máxima promedio de la zona,

que es de 33°C. La temperatura interior del vehículo está en función a las Necesidades de confort de los pasajeros, el cual varía entre 18 y 21° Centígrados. La diferencia de temperatura para el cálculo será de:  $33 - 18 = 14^{\circ}\text{C}$ , que es la máxima diferencia en promedio entre el exterior e interior del vehículo.

Con la conclusión del área de intercambio de calor, se realiza en las dimensiones que presentan las paredes, piso, techos, puertas y ventanas del vehículo.

**c. Transferencia de calor en techo del vehículo.**

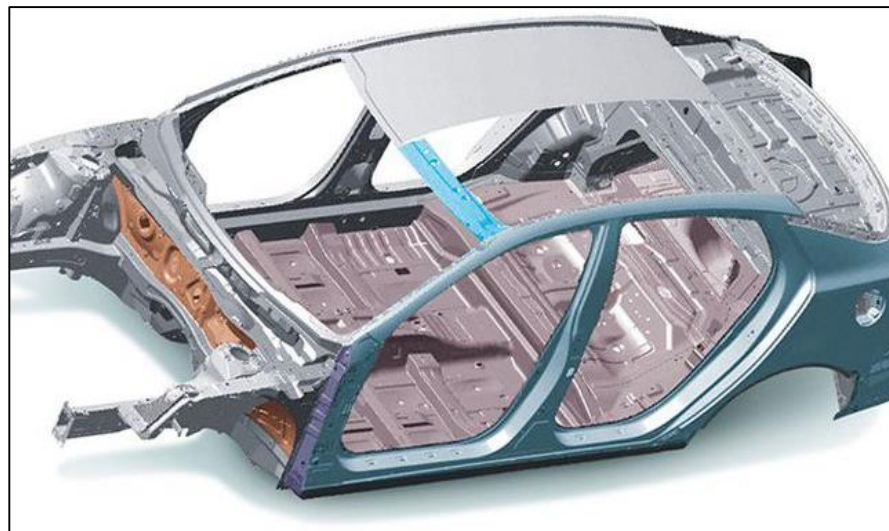
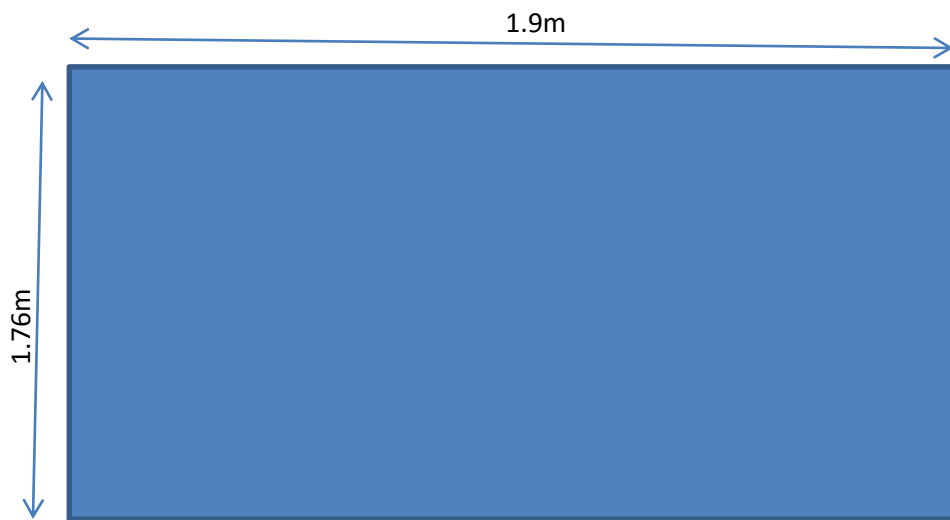


Figura 12. Vista superior del techo de vehículo

Fuente: Autoría propia

conductividad de calor por conducción en el techo del vehículo, el cual está constituido de material fibra de vidrio con pintura uretano, tiene una autoinducción que transfiere calor por circulación:

$U$  = Conductividad Térmica del material sintético:  $2.53 \text{ W/ m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$

$Q$ : Flujo de calor por conducción en Watt.

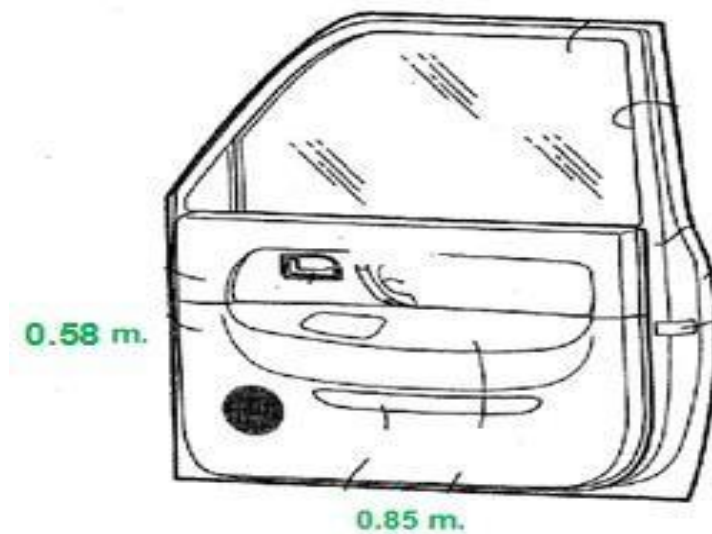
Reemplazando valores, se obtiene:

$$\text{Área} = 1.76 \times 1.9 = 3.34 \text{ m}^2$$

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

$$Q = 2.53 \times 3.34 \times 14 = 118.44 \text{ Watt.}$$

#### d. Transferencia de calor en puertas laterales



las puertas tienen un área de material sintético y un área de material de vidrio

#### Material sintético

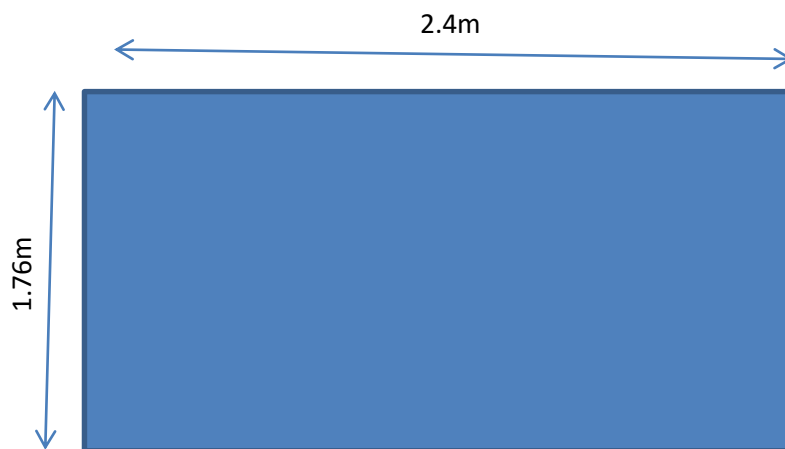
$$Q = 2.53 \times (0.58 \times 0.85) \times 14$$

$$Q = 17.46 \text{ Watt.}$$



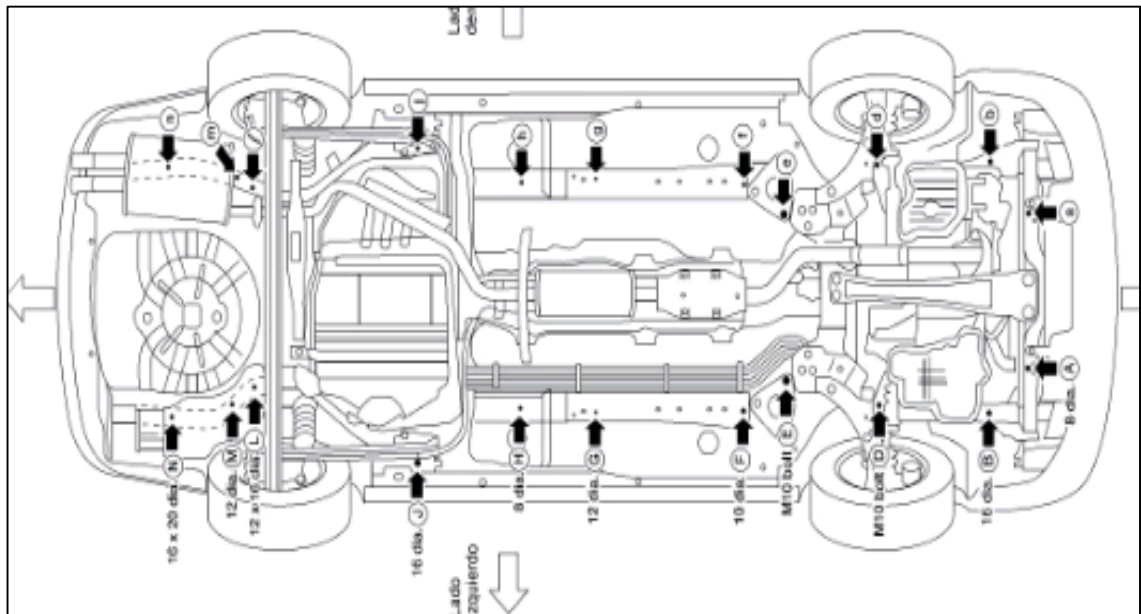
$$Q = 21.48 \text{ Watt.}$$

## Transferencia de calor en piso

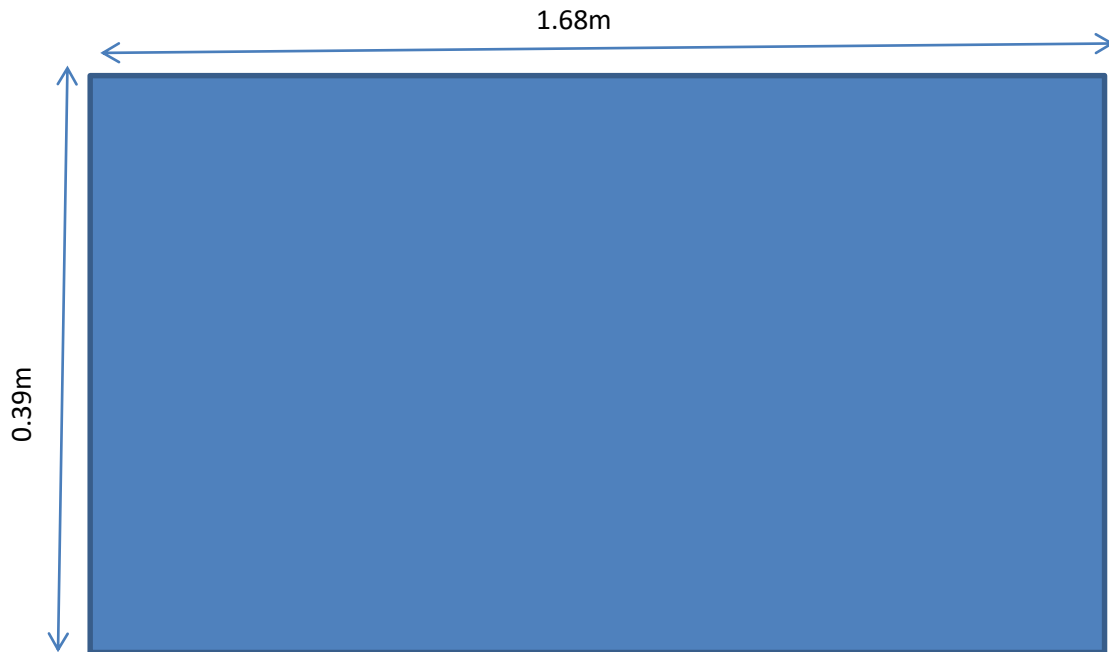


$$Q = U \times A \times \Delta T$$

$$Q = 2.53 \times 4.22 \times 14 = 149.61 \text{ Watt.}$$



### Transferencia de calor en parabrisas.



$$\text{Área} = 0.39 \times 1.68 = 0.65 \text{ m}^2$$

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

$$Q = 5.12 \times 0.65 \times 14 = 46.59 \text{ Watt}$$

Por lo tanto, en ambos parabrisas, el flujo de calor por conducción es de  $46.59 \times 2 = 93.18 \text{ Watt}$ .

En resumen, se tiene una corriente de calor por conducción en la carrocería del vehículo en total es de  $118.44 + 155.76 + 149.61 + 93.18 = 516.99 \text{ Watt}$ .

El calor total que se requiere para climatizar las cargas térmicas y la transferencia de calor hacia el exterior será:  $1091.3 + 516.99 = 1608.29 \text{ Watt}$ .

## Transferencia de calor por convección

Se determina una energía por convección se transfiere desde afuera hacia adentro del automóvil, debido al flujo del aire y circula por el exterior tanto de la parte de la fibra de vidrio, como de los vidrios del vehículo.

### En el área con material de fibra de vidrio.

Diferencia de temperatura entre exterior e interior:  $33 - 19 = 14^{\circ}\text{C}$

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_{\text{inf}}}{R_T},$$

Donde la Resistencia Total se calcula como sigue:

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{\Delta x}{k_w}$$

Dónde:

R: Resistencia al flujo de calor total.

$h_i$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección de la fibra de vidrio:  $2.53 \frac{\text{Watt}}{^{\circ}\text{K.m}^2}$

$h_c$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección del aire:  $65 \frac{\text{Watt}}{^{\circ}\text{K.m}^2}$

$k_w$ : Coeficiente de transferencia de calor por conducción del aire:  $1.4 * 10^4 \frac{\text{Watt}}{^{\circ}\text{K.m}}$

Reemplazando valores, se tiene:

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{\Delta x}{k_w} = \frac{1}{30 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^{\circ}\text{K}} \right]} + \frac{1}{65 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^{\circ}\text{K}} \right]} + \frac{5 \times 10^{-3} [\text{m}]}{1.4 * 10^4 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} - ^{\circ}\text{K}} \right]} = 0.048 \left[ \text{m}^2 - ^{\circ}\text{K} / \text{W} \right]$$

$$Rt = \frac{1}{hi} + \frac{1}{hc} + \frac{\Delta x}{kw} = \frac{1}{2.53} + \frac{1}{65} + \frac{1}{1.4*10^4} = 0.40$$

Entonces, reemplazando valores, se tiene:

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_{\text{inf}}}{R_T} = \frac{(33 - (19))^{\circ} K}{0.40 \left[ \frac{m^2 -^{\circ} K}{W} \right]} = 35 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

El área total de la superficie que tiene fibra de vidrio entre el techo, piso y paredes laterales es de 3.80 m<sup>2</sup>, por lo tanto, el calor total que se transfiere desde el exterior hasta el interior del vehículo por convección es:

$$Q_1 = 3.80 \times 35 = 133 \text{ Watt}$$

De manera análoga, se determina en el área de los vidrios del vehículo.

### En el área con material de vidrios

Diferencia de temperatura entre exterior e interior:  $33 - 19 = 14^{\circ}C$

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_{\text{inf}}}{R_T}$$

Donde la Resistencia Total se calcula como sigue:

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{\Delta x}{k_w}$$

Dónde:

R: Resistencia a la corriente calorífica total.

h<sub>i</sub>: Coeficiente de transferencia de calor por convección del vidrio:  $5.12 \frac{Watt}{^{\circ}K.m^2}$

h<sub>c</sub>: Coeficiente de transferencia de calor por convección del aire:  $65 \frac{Watt}{^{\circ}K.m^2}$

k<sub>w</sub>: Coeficiente de transferencia de calor por conducción del aire:  $1.4 * 10^4 \frac{Watt}{^{\circ}K.m}$

Reemplazando valores, se tiene:

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{\Delta x}{k_w} = \frac{1}{30 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]} + \frac{1}{65 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]} + \frac{5 \times 10^{-3} [m]}{1.4 \times 10^4 \left[ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]} = 0.048 \left[ m^2 \cdot ^\circ K / W \right]$$

$$Rt = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{\Delta x}{k_w} = \frac{1}{5.12} + \frac{1}{65} + \frac{1}{1.4 \times 10^4} = 0.21$$

Entonces, reemplazando valores, se tiene:

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_{inf}}{R_T} = \frac{(33 - (19))^\circ K}{0.21 \left[ m^2 \cdot ^\circ K / W \right]} = 66.66 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

El área total de la superficie que tiene los vidrios, que son los parabrisas posterior y delantero, y las cuatro ventanas de las puertas laterales.  $A = 3.20 \text{ m}^2$ . El calor total que se transfiere desde el exterior hasta el interior del vehículo por convección es:

$$Q_2 = 3.20 \times 66.66 = 213.33 \text{ Watt}$$

Por lo tanto el calor por convección es:

$$Q_1 + Q_2 = 133 + 213.44 = 346.44 \text{ Watt.}$$

Finalmente, se determina el calor total que se requiere para climatizar el interior del vehículo a una temperatura de  $19^\circ\text{C}$ , con temperatura exterior de  $33^\circ\text{C}$ , es el calor sensible más la circulación de energía por conducción más la circulación de energía por convección, es decir:  $1091.3 + 516.99 + 346.44 = 1954.3 \text{ Watt}$ .

El flujo del aire se determina en función al volumen del interior del vehículo, el cual tiene un volumen de  $1.23 \text{ m}^3$ , y la viscosidad del aire será de  $1.28 \text{ Kg/m}^3$ , es decir que se tiene  $1.28 \times 1.23 = 1.57 \text{ Kg}$  de aire, el cual se requiere que sea renovado por la acción de, ventilador del aire acondicionado. Por lo tanto, el calor total que se requiere es:

$$1.57 \text{ Kg} \times 1954.3 = 3076.84 \text{ Watt}$$

**3.2. Realizar el análisis termodinámico en los componentes del sistema de aire acondicionado por absorción de acuerdo con la carga térmica en el interior del vehículo liviano.**

El procedimiento del aire acondicionado por absorción tiene como energía de ingreso al calor que se transfiere desde la tina del radiador del sistema de enfriamiento del motor de combustión interna, y como efecto refrigerante la cesión de calor de las cargas térmicas en el evaporador del sistema.

La temperatura el interior del coche es  $19^{\circ}\text{C}$ , temperatura del medio ambiente  $33^{\circ}\text{C}$ , el sistema utiliza como fluido de trabajo la mezcla bromuro de litio – Agua.

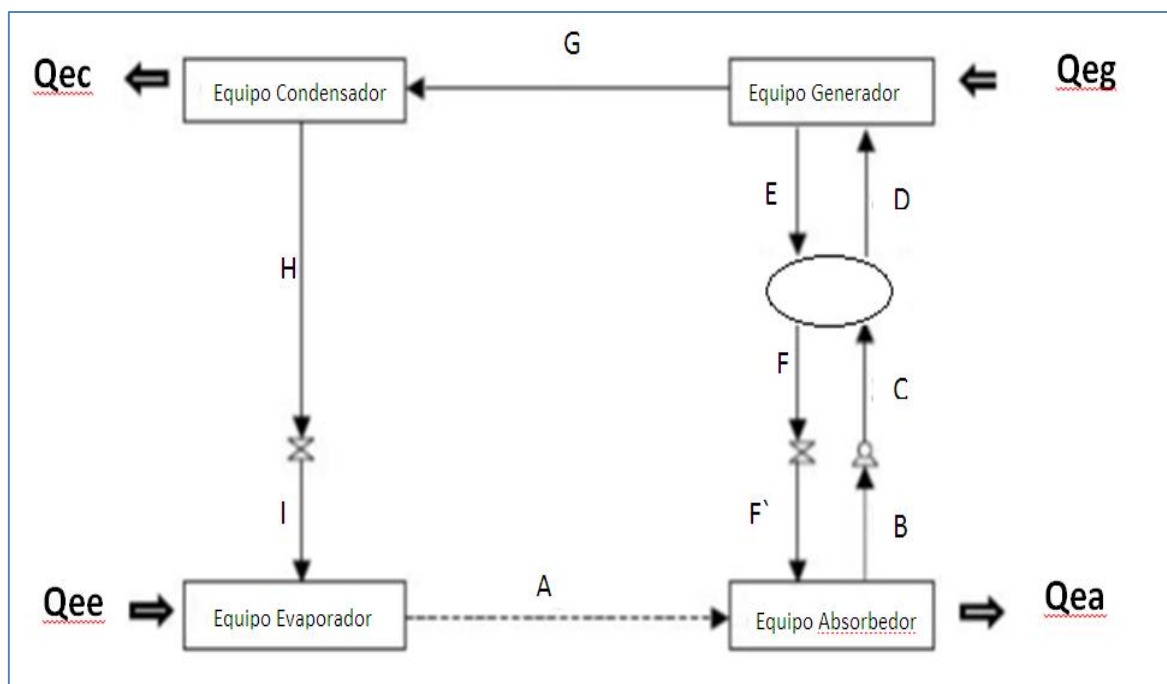


Figura 13. Ciclo de Refrigeración por absorción.

Fuente: Manual de instrucción Toyota

## Elementos del circuito de refrigeración por absorción.

Estados Termodinámicos, ingreso y salida en los elementos del sistema de enfriamiento por absorción.

### 1. Equipo Condensador.

Parámetros del diseño del Condensador son:

a) Ingreso. Estado Termodinámico G

Temperatura: 33°C.

Fluido: Vapor saturado.

Presión de saturación: 5.034 KPa.

b) Salida. Estado Termodinámico H.

Temperatura: 33°C

Fluido: Líquido Saturado.

Presión de saturación: 5.034 KPa.

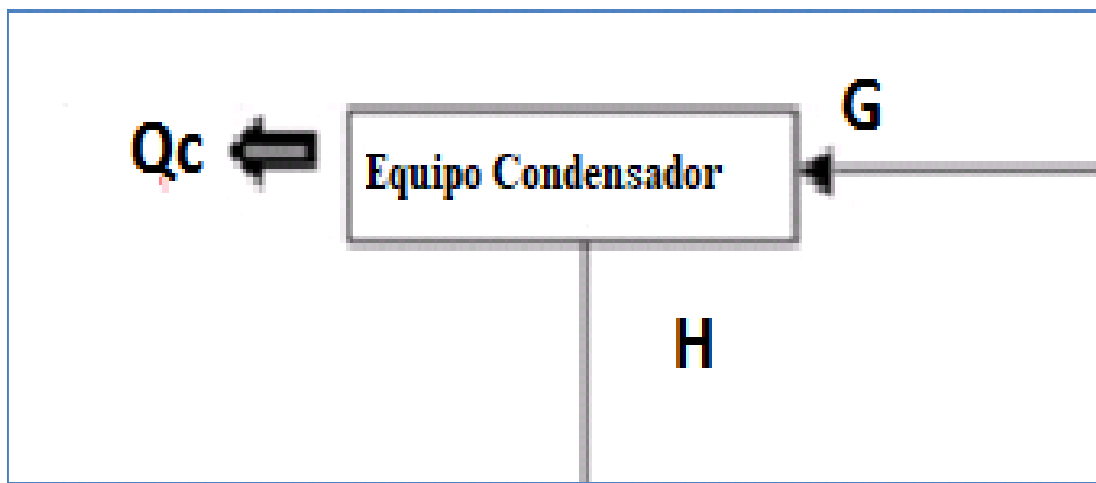


Figura 14. Estado termodinámico al ingreso y salida del condensador

Fuente: Guía de Observación

## 2. Evaporador.

Ingreso. Estado Termodinámico I.

Temperatura: 19°C.

Fluido: Líquido Saturado.

Presión de saturación: 2.198 KPa.

Salida. Estado Termodinámico A.

Temperatura: 19°C

Fluido: Vapor saturado.

Presión de saturación: 2.198 KPa.

Calor que se requiere en el interior del vehículo liviano:  $Q_{ee} = 3076.84 \text{ Watt}$ .

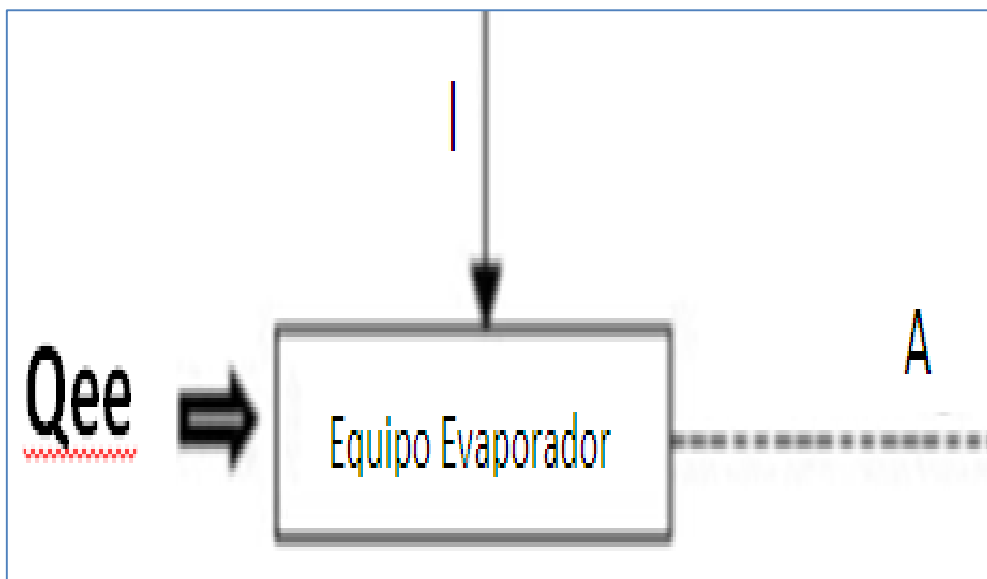


Figura 15. Estado termodinámico al ingreso y salida del Evaporador

Fuente: Guía de Observación



### 3. Absorbedor.

Ingreso. Estado Termodinámico A

Temperatura: 19°C

Fluido: Vapor saturado.

Presión de saturación: 2.198 KPa.

Salida. Estado Termodinámico B.

Temperatura: 33°C

Fluido: Mezcla Bromuro de Litio – Agua.

Presión de saturación: 0.872 KPa.

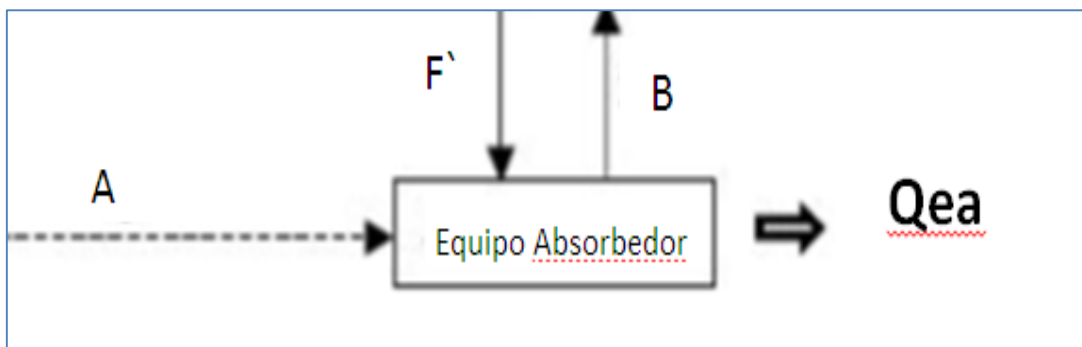


Figura 16. Estado termodinámico al ingreso y salida del Equipo Absorbedor

Fuente: Guía de Observación

### 4. Generador.

Ingreso. Calor que proviene del agua del radiador del sistema de enfriamiento del motor de combustión interna.  $Q_{eg}$

Salida. Estado Termodinámico G.

Temperatura: 33°C.

Fluido: Vapor saturado.

Presión de saturación: 5.034 KPa.

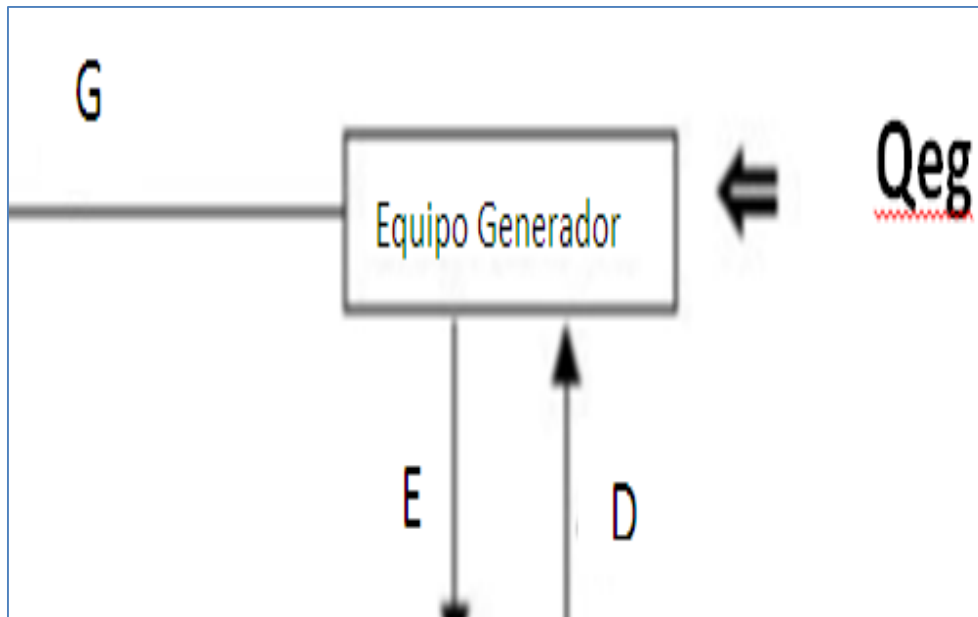


Figura 17. Estado termodinámico al ingreso y salida del Equipo Absorbedor

Fuente: Guía de Observación

El calor  $Q_{eg}$ , es el que se obtiene desde el agua del sistema de enfriamiento del vehículo, el agua en el radiador es enfriado por el ventilador del sistema, el cual se activa de acuerdo con las necesidades de enfriar el agua en los tubos internos del radiador.

El calor  $Q_{eg}$ , es obtenido mediante un intercambiador de calor de contacto indirecto que se instala en el interior de la tina superior del radiador, el cual se constituye en la energía de ingreso al equipo de calefacción por absorción de unos coches livianos.

El resumen, se tiene los estados termodinámicos de los ingresos y salidas de los elementos del sistema de aire acondicionado por absorción.

Tabla 4. Estados Termodinámicos en la Máquina de Absorción.

Estado Termodinámico	Temperatura (°C)	Presión de Saturación (KPa)	Fase
G	19	5.034	Vapor Saturado
H	19	5.034	Líquido Saturado
I	33	2.198	Líquido Saturado
A	33	2.198	Vapor Saturado
B	33	0.872	Mezcla Bromuro de Litio – Agua
E	75	5.034	Mezcla Bromuro de Litio – Agua

Fuente: Fayres, 2012.

### **Balance de masa y energía en cada elemento del sistema de aire acondicionado por absorción**

En el cálculo de calor en cada elemento del circuito esta realizado y teniendo en cuenta el flujo de masa que ingresa y sale de cada elemento, así como también la entalpía que tiene el fluido de trabajo en dicho estado termodinámico.

Los valores de entalpía se calculan de las tablas termodinámicas, de acuerdo con el estado en que se encuentre la sustancia, es decir como liquido saturado o como vapor saturado a la temperatura y presión dada.

Tabla 5. Propiedades del Agua

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas										
Temp.	Presión	Volumen específico		Energía interna		Entalpía			Entropía	
		m <sup>3</sup> / kg		kJ / kg		kJ / kg			kJ / kg K	
		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Vapor	Líquido	Vapor
°C	bar	sat, v <sub>f</sub> x 10 <sup>3</sup>	sat, v <sub>g</sub>	sat, u <sub>f</sub>	sat, u <sub>g</sub>	sat, h <sub>f</sub>	vaporiz, h <sub>fg</sub>	sat, h <sub>g</sub>	sat, s <sub>f</sub>	sat, s <sub>g</sub>
0,01	0,00611	1,0002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562
4	0,00813	1,0001	157,232	16,77	2380,9	16,78	2491,9	2508,7	0,0610	9,0514
5	0,00872	1,0001	147,120	20,97	2382,3	20,98	2489,6	2510,6	0,0761	9,0257
6	0,00935	1,0001	137,734	25,19	2383,6	25,20	2487,2	2512,4	0,0912	9,0003
8	0,01072	1,0002	120,917	33,59	2386,4	33,60	2482,5	2516,1	0,1212	8,9501
10	0,01228	1,0004	106,379	42,00	2389,2	42,01	2477,7	2519,8	0,1510	8,9008
11	0,01312	1,0004	99,857	46,20	2390,5	46,20	2475,4	2521,6	0,1658	8,8765
12	0,01402	1,0005	93,784	50,41	2391,9	50,41	2473,0	2523,4	0,1806	8,8524
13	0,01497	1,0007	88,124	54,60	2393,3	54,60	2470,7	2525,3	0,1953	8,8285
14	0,01598	1,0008	82,848	58,79	2394,7	58,80	2468,3	2527,1	0,2099	8,8048
15	0,01705	1,0009	77,926	62,99	2396,1	62,99	2465,9	2528,9	0,2245	8,7814
16	0,01818	1,0011	73,333	67,18	2397,4	67,19	2463,6	2530,8	0,2390	8,7582
17	0,01938	1,0012	69,044	71,38	2398,8	71,38	2461,2	2532,6	0,2535	8,7351
18	0,02064	1,0014	65,038	75,57	2400,2	75,58	2458,8	2534,4	0,2679	8,7123
19	0,02198	1,0016	61,293	79,76	2401,6	79,77	2456,5	2536,2	0,2823	8,6897
20	0,02339	1,0018	57,791	83,95	2402,9	83,96	2454,1	2538,1	0,2966	8,6672
21	0,02487	1,0020	54,514	88,14	2404,3	88,14	2451,8	2539,9	0,3109	8,6450
22	0,02645	1,0022	51,447	92,32	2405,7	92,33	2449,4	2541,7	0,3251	8,6229
23	0,02810	1,0024	48,574	96,51	2407,0	96,52	2447,0	2543,5	0,3393	8,6011
24	0,02985	1,0027	45,883	100,70	2408,4	100,70	2444,7	2545,4	0,3534	8,5794
25	0,03169	1,0029	43,360	104,88	2409,8	104,89	2442,3	2547,2	0,3674	8,5580
26	0,03363	1,0032	40,994	109,06	2411,1	109,07	2439,9	2549,0	0,3814	8,5367
27	0,03567	1,0035	38,774	113,25	2412,5	113,25	2437,6	2550,8	0,3954	8,5156
28	0,03782	1,0037	36,690	117,42	2413,9	117,43	2435,2	2552,6	0,4093	8,4946
29	0,04008	1,0040	34,733	121,60	2415,2	121,61	2432,8	2554,4	0,4231	8,4739
30	0,04246	1,0043	32,894	125,78	2416,6	125,79	2430,5	2556,3	0,4369	8,4533
31	0,04496	1,0046	31,165	129,96	2418,0	129,97	2428,1	2558,1	0,4507	8,4329
32	0,04759	1,0050	29,540	134,14	2419,3	134,15	2425,7	2559,9	0,4644	8,4127
33	0,05034	1,0053	28,011	138,32	2420,7	138,33	2423,4	2561,7	0,4781	8,3927
34	0,05324	1,0056	26,571	142,50	2422,0	142,50	2421,0	2563,5	0,4917	8,3728
35	0,05628	1,0060	25,216	146,67	2423,4	146,68	2418,6	2565,3	0,5053	8,3531

Fuente: Fayres, 2012.

Los flujos másicos son: el flujo másico del refrigerante ( $\dot{m}_t$ ), el Flujo másico de la solución, salida del absorbedor ( $\dot{m}_{sa}$ ), el Flujo másico de disolución a la salida del generador ( $\dot{m}_{sg}$ ), y las concentraciones de la disolución en el absorbedor y el generador ( $C_a$ ,  $C_g$ ).

En la tabla de vapor de agua, se determina los valores de entalpía de los estados termodinámicos.

Tabla 6. Entalpía de los estados termodinámicos

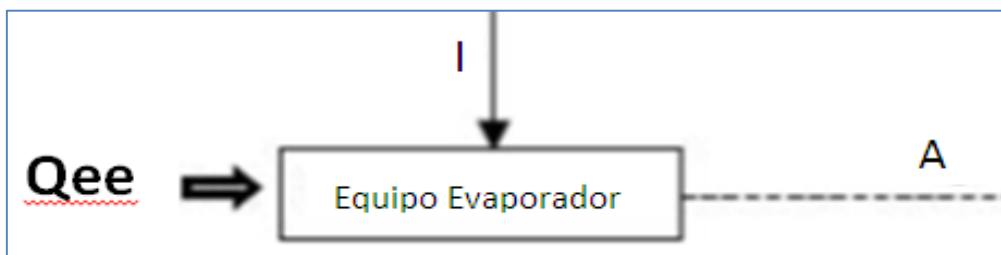
Estado Termodinámico	Temperatura (°C)	Presión de Saturación (KPa)	Fase	Entalpía (KJ/Kg)
G	19	5.034	Vapor Saturado	2536.2
H	19	5.034	Líquido Saturado	79.77
I	33	2.198	Líquido Saturado	138.33
A	33	2.198	Vapor Saturado	2561.7
B	33	0.872	Mezcla Bromuro de Litio – Agua	177
E	75	5.034	Mezcla Bromuro de Litio – Agua	112

Fuente: Fayres, 2012.

### Balance de energía.

#### En el evaporador.

Calor desde el interior del vehículo = Calor que absorbe el evaporador.



El corriente de temperatura en la parte interna de la cabina es 3076.84 Watt, y el calor que absorbe el evaporador es la razón entre el flujo másico del agua por la desigualdad de entalpías al ingreso y final en el evaporador, en el cual se tiene:

$$W_e = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$

Despejando, se tiene.

$$\dot{m}_t = \frac{W_e}{h_A - h_I} = \frac{3076.84}{2561.7 - 138.33} = 0.00126 \frac{Kg}{s}$$

Se realizará un equilibrio de masa y sabiendo que la concentración a la salida del absorbedor por su flujo másico es igual que la concentración a la salida del absorbedor por su flujo másico:

$$C_a \cdot \dot{m}_{sa} = C_g \cdot \dot{m}_{sg}$$

$$\dot{m}_{sa} = \dot{m}_{sg} + \dot{m}_t$$

$$\dot{m}_{sg} = \frac{C_a \cdot \dot{m}_t}{C_g - C_a}$$

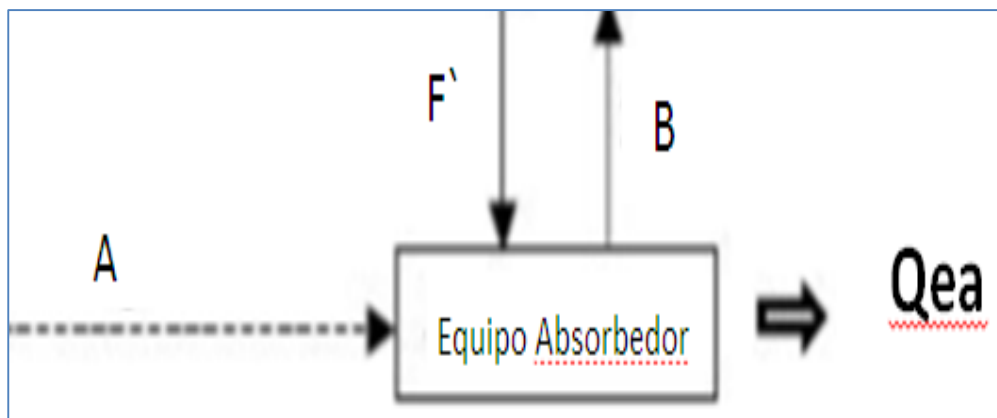
$$\dot{m}_{sg} = \frac{0.58 \cdot 0.00126}{0.58 - 0.55} = 0.024 \frac{Kg}{s}$$

El valor de  $\dot{m}_{sa} = 0.024 + 0.00126 = 0.025 \text{ Kg/s}$

**Determinación de los calores en cada elemento del circuito.**

**Calor en el absorbedor.**

$$W_{abs} = \dot{m}_t \cdot h_A + \dot{m}_{sg} \cdot h_F - \dot{m}_{sa} \cdot h_B$$



Estado Termodinámico	Temperatura (°C)		Entalpía (KJ/Kg)
A	19		2561.7
B	33		177
F	41		112

$\dot{m}_t = 0.00126 \text{ Kg/s}$ .

$\dot{m}_{sa} = 0.025 \text{ Kg/s}$

$\dot{m}_{sg} = 0.024 \text{ Kg/s}$

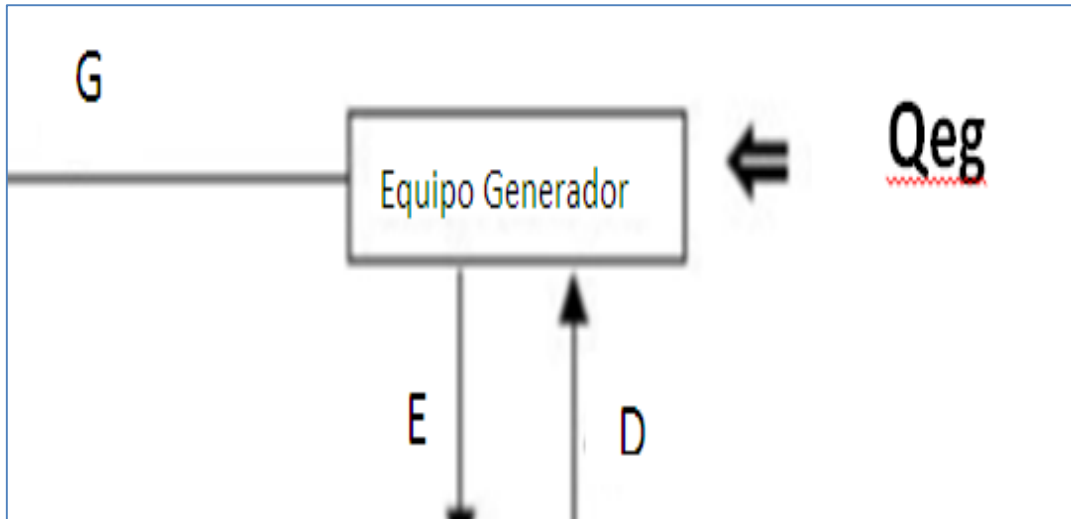
Reemplazando, se tiene.

$$W_{abs} = 0.00126 * 2561.7 + 0.024 * 112 - 0.025 * 177 = 1490 \text{ Watt}.$$

Es decir, se requiere en el absorbedor la transferencia de 830.1 Watt de potencia térmica.

### Calor en el generador

$$W_{abs} = m_t * h_A + m_{sg} * h_F - m_{sa} * h_B$$



Estado Termodinámico	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/Kg)
D	33	81
G	33	2536.2
E	75	177

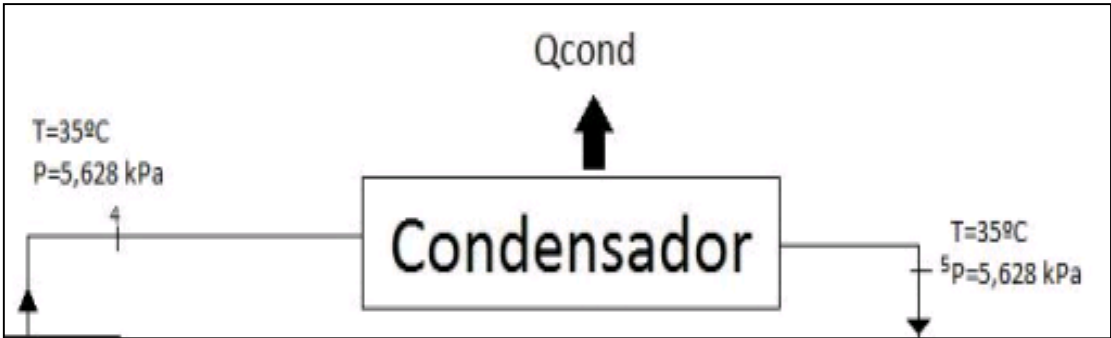
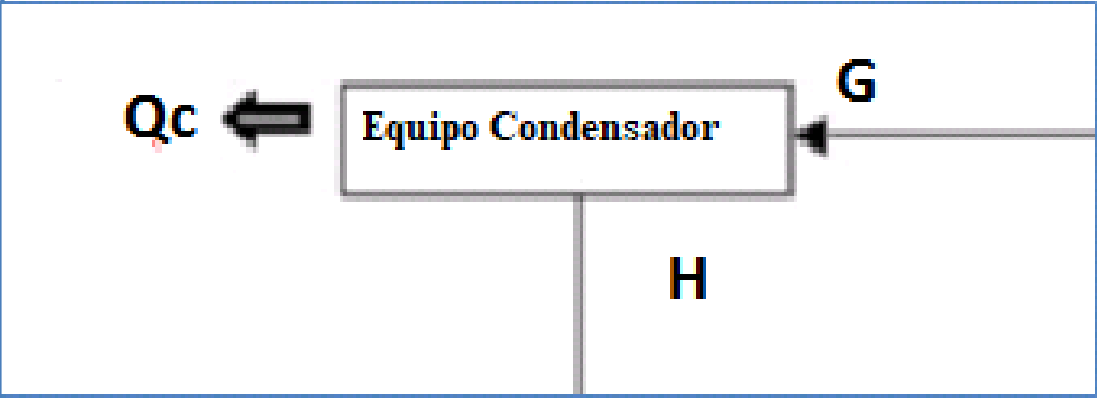
Reemplazando, se tiene.

$$W_{gen} = 0.00126 * 2536.2 + 0.025 * 177 - 0.024 * 81 = 5676 \text{ Watt.}$$

5676 watt, es la corriente de calor que necesita para obtener desde la transferencia de calor ubicado en la tina superior en el radiador del sistema de enfriamiento del motor de combustión interna del vehículo.



Calor en el condensador.



Estado Termodinámico	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/Kg)
G	33	2536.2
H	33	79.77

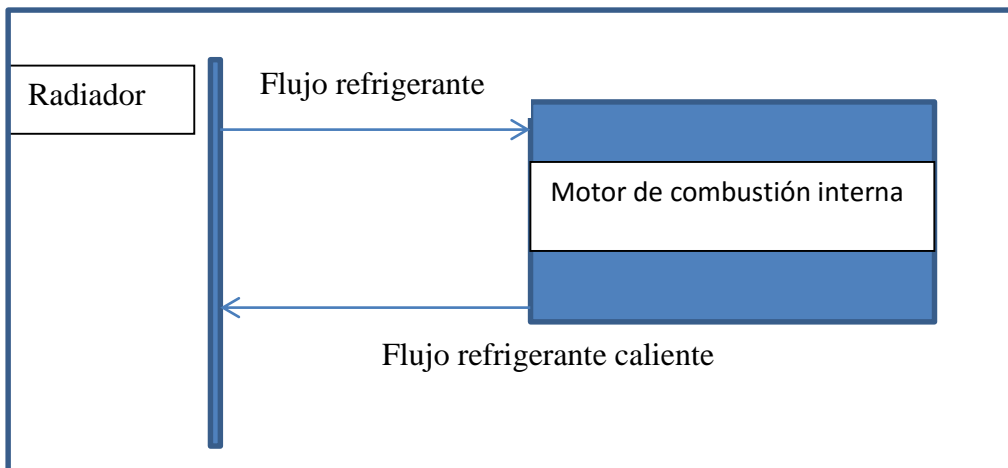
Reemplazando, se tiene.

$$W_{con} = 0.00126 * 2536.2 - 0.00126 * 79.77 = 3095 \text{ Watt}$$

### 3.3. Dimensionar el elemento captador de calor en el interior del radiador del motor.

#### 3.3.1. Energía calorífica del agua de refrigeración.

El líquido refrigerante del circuito de refrigeración del mecanismo extrae calor del interior del motor en el radiador cede energía al medio exterior por la acción de la transferencia de calor forzada por el aire del ventilador del sistema, que se activa cuando alcanza la temperatura predeterminada.



**Figura 18. Circuito de refrigeración del Motor.**

Fuente: Manual Nissan Sentra, 2015

Se hizo las mediciones de los grados de ingreso la excursión del líquido en el radiador. Al ingreso del radiador, el líquido refrigerante ingresa hacia el radiador a una temperatura de  $94^{\circ}\text{C}$ , que es la temperatura normal de funcionamiento del motor, y sale del radiador a una temperatura de  $75^{\circ}\text{C}$ . La pérdida de temperatura del líquido refrigerante se da en el radiador, el cual cede energía al medio exterior por la acción forzada del aire del ventilador.

El motor de combustión interna moderno está dado por el 20% y el 40% de la energía disipada por el carburante es disipado en forma de energía mediante del circuito de refrigeración.

Calor que absorbe el líquido refrigerante está dado por la expresión:

$$Qm = m_r * Cp * \Delta T$$

Dónde:

$Qm$ : Calor que absorbe el agua de refrigeración, en Joule.

$m_r$ : Masa de refrigerante, 0.85 Kg/s (Valor según manual del fabricante)

$Cp$ : Combustión específica a presión constante: 4.186 KJ/kg°K

$\Delta T$ : Variante de temperatura, en Kelvin

La variante de temperatura medida será de  $94 - 75 = 19^\circ\text{C}$

Reemplazando valores, se tiene:

$$Qm = 0.9 * 4.186 * 19 = 71.58 \text{ Kw}$$

El líquido refrigerante del motor cede esta cantidad de calor hacia el exterior.

### **Diseño del intercambiador de calor en radiador.**

Consiste en dimensionar un intercambiador de calor de tina superior y núcleos, por la coraza se encuentra el agua caliente proveniente del motor, y por el lado del tubo el agua del circuito de enfriamiento por absorción.

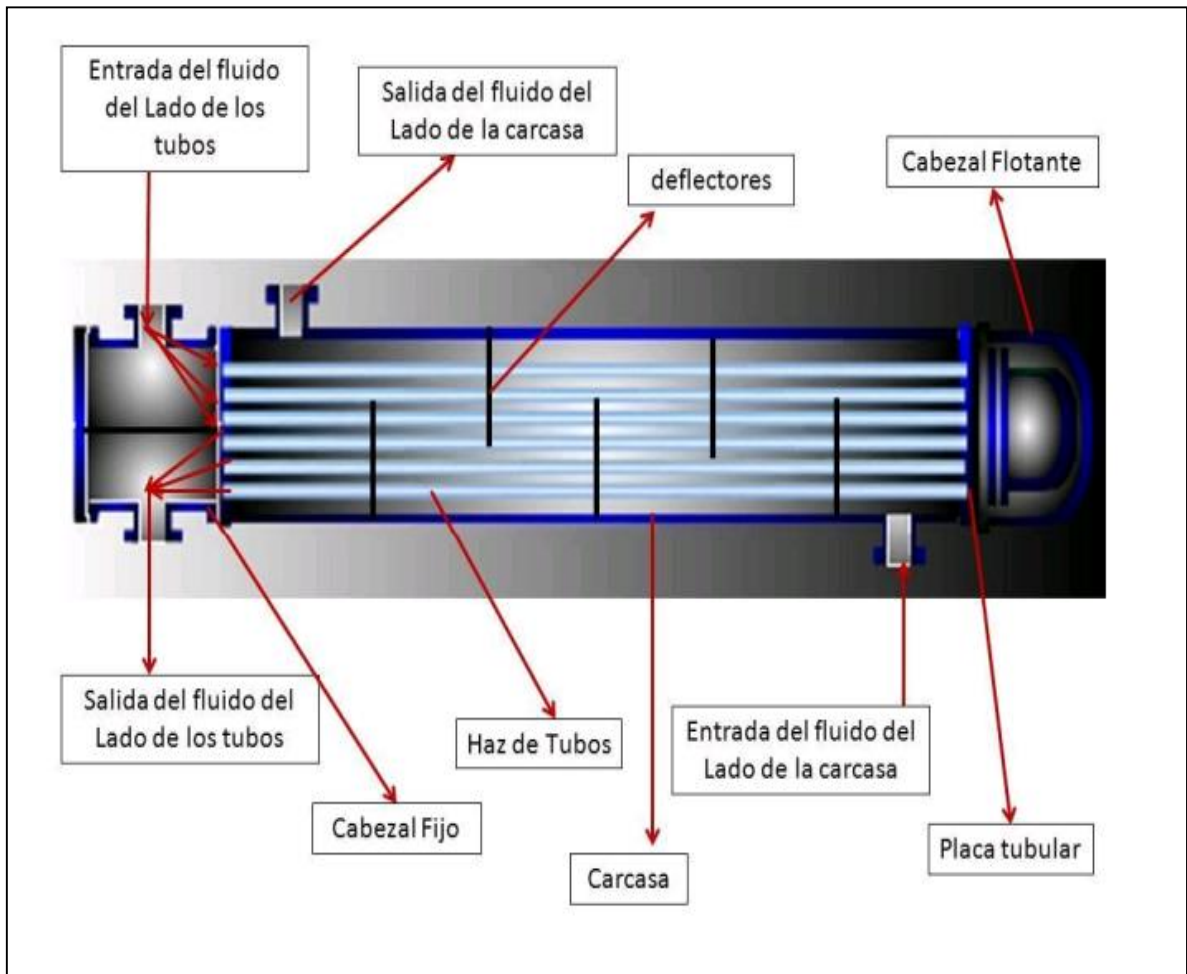


Figura 19. Intercambiador, Coraza, Tubos del Radiador.

Fuente: Elaboración propia

### **Lado de la coraza**

El agua caliente proveniente del mecanismo de ignición es almacenada por la tina superior en el radiador del vehículo, el cual tiene las siguientes dimensiones:

Longitud: 0.40m

Altura: 0.11 m

Ancho: 0.08 m

**Lado del tubo.**

El material de los tubos a utilizar es de cobre, de un diámetro de 1/4", con un espesor de pared del tubo de 0.3mm

La temperatura de entrada del agua en el interior del tubo es la temperatura que ingresa el agua en el generador del circuito de enfriamiento por absorción, 33°C del ingreso y 75° a la salida.

Con lo cual el calor que gana el agua de refrigeración el sistema de absorción se determina:

$$Q_a = m_2 * C_p * \Delta T_a$$

Dónde:

Q<sub>a</sub>: Calor que gana el agua de refrigeración del sistema de absorción.

m<sub>2</sub>: Flujo de masa de agua del circuito de enfriamiento por absorción.

C<sub>p</sub>: Calor específico a presión constante.

ΔT<sub>a</sub>. Variación del calor de ingreso y salida en el generador, 75 – 35 = 40°C

Reemplazando valores obtenido en el ítem 3.2, en el cual la masa de flujo de refrigerante es:

$$m_{sa} = 0.025 \text{ Kg/s}$$

Este flujo de masa debe circular por el número de tubos dispuestos en el interior de la tina del radiador. Se selecciona 10 tubos en paralelo en el interior de la tina del radiador.

Por lo tanto, el flujo de masa de refrigerantes es 0.025 Kg/s.

### Velocidad del agua en el interior del tubo.

Para un flujo de 0.025 Kg/s en el medio de un tubo de cobre de 1/8" de calibre (0.003175m)

El área de cada tubo de cobre es de:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 * 0.003175^2}{4} = 0.0000079m^2$$

Luego:

$$m2 = v * S * \rho$$

Dónde:

m2: Flujo de masa de agua refrigerante en cada tubo. 0,025Kg/s

S: Área de la tubería de cobre. 0.000031m<sup>2</sup>

$\rho$ : Densidad del agua: 993 Kg/m<sup>3</sup>

Reemplazando valores:

$$v = \frac{0.025}{0.0000079 * 993} = 3.18 \text{ m/s}$$

Es decir que la velocidad del fluido de refrigeración por absorción es de 3-18 m/s, es un parámetro que determina el intercambio de energía por convección entre el agua de adentro en la tina, radiador y el interior de los tubos de cobre de la turbina del sistema de absorción. Es decir, determina el coeficiente de transferencia de calor por convección  $h_c$ .

T = Media entre los 75 y 35°C es:  $(75 + 35) / 2 = 55^\circ\text{C}$

Con este valor de 55°C, se selecciona los valores de:

- Viscosidad del agua, que es  $0.69 * \frac{10^{-6}m^2}{s}$
- El número de Prandtl (Pr), que una proporción del cociente entre la velocidad de difusión de la cantidad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica. = 4.608.
- Conductividad térmica del fluido: 0.6294 W/m°K

### Cálculo del Número de Reynolds.

$$Re = \frac{v * D}{\vartheta}$$

Dónde:

Re: Número de Reynolds.

$v$ : Velocidad de flujo de agua.

$D$ : Diámetro de la tubería.

$\vartheta$ : Viscosidad del agua.

Reemplazando valores, se tiene:

$$Re = \frac{3.18 \frac{m}{s} * 0.00635m}{0.69 * \frac{10^{-6}m^2}{s}}$$

$$Re = 29265$$

La cantidad de Reynolds al ser mayor de 2100 se estimula el flujo turbulento, con ello se utiliza la ecuación de Ditus – Boelter, para determinar el número de Nusselt, que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección) comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción.

La ecuación Ditus – Boelter, se expresa:

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.4}$$

Reemplazando se tiene:

$$Nu = 0.023 * 29265^{0.8} * 4.608^{0.4}$$

$$Nu = 158.23$$

Luego, la expresión que relaciona el coeficiente de transferencia de calor  $h_c$ , la conductividad térmica del fluido, y el diámetro de la tubería, se tiene.

$$Nu = \frac{h_c * D}{K_f}$$

Dónde:

Nu; Número de Nusselt.

$h_c$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección.

D: Diámetro de la tubería.

$K_f$ . Conductividad térmica de fluido.

Despejando  $h_c$  de la ecuación, y reemplazando valores, se tiene:

$$h_c = \frac{158.23 * 0.06294}{0.0625} = 1593 \frac{W}{m^2 K}$$

Después de encontrar el coeficiente en medio de cada ducto, se realiza un diseño igual para encontrar de la externa. La temperatura 1/2 de refrigerante del mecanismo como inicio y el fin se tendrá  $(94 + 78.9) / 2 = 86.45$ , temperaturas a las cuales tienen unas densidades  $\rho = 965.65 \text{ Kg/m}^3$ . Y calcular el todo el parámetro que se necesiten, deberá hacerse una suposición. La temperatura media del agua en el interior del tubo como ya se ha mencionado al hallar sus propiedades es de  $55^\circ\text{C}$  mientras que la del agua motor que circula por la carcasa es de  $86,45^\circ\text{C}$ . Así pues, se asume que la temperatura en el punto

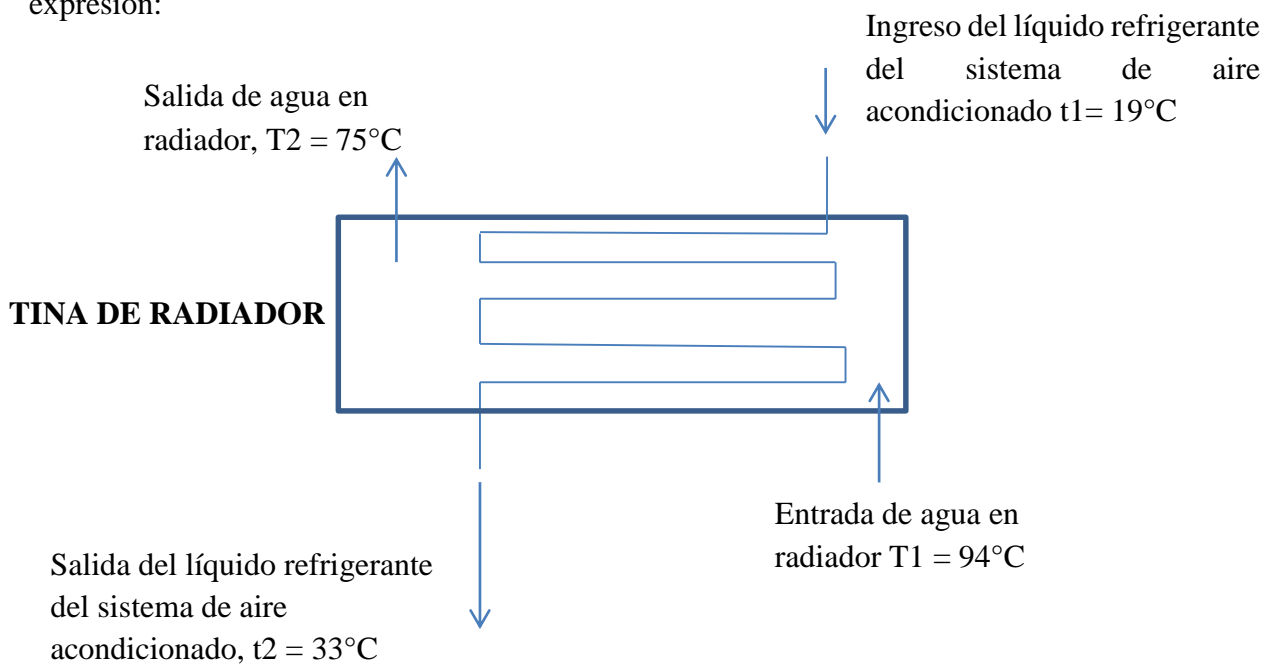


medio de la pared de cada tubo es la media entre esas dos, es decir, aproximadamente  $(55 + 86,45) / 2 = 70.72 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Partiendo de esto, la suposición consiste en decir que la temperatura de la cara exterior de la pared de cada tubo está a  $70.72^{\circ}\text{C}$ . A partir de ahí, en estos problemas de convección exterior se halla la temperatura media entre la pared exterior y el fluido que circula por fuera y se hallan las propiedades de dicho fluido (agua motora en el proyecto) a la temperatura resultante.

### Cálculo de la LMTD

LMTD es la diferencia de temperatura media logarítmica, el cual lo determina con su expresión:



$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$LMTD = \frac{(94 - 19) - (75 - 33)}{\ln\left(\frac{75}{42}\right)} = 56.91 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

El diseño será a contracorriente, es decir el flujo será en sentido inverso, por el lado de los tubos fluye el agua del circuito de aire acondicionado y por otro lado la carcasa encuentra con el flujo de agua del sistema de refrigeración del motor.

Luego, determinamos las áreas de transferencia de calor, con la expresión:

$$Q = h * A * LMTD$$

Dónde:

Q. Calor que requiere el colector de calor, 5676 Watt.

h. Coeficiente de transferencia por convección.  $5.28 \frac{W}{m^2 K}$

A: Área de transferencia de calor, en m<sup>2</sup>

LMTD: 56.91°C

Reemplazando valores, se obtiene el área de transferencia de calor:

$$A = \frac{5676}{1593 * 56.91} = 0.062 \text{ m}^2$$

Para una tubería de 1/8" de diámetro (0.003175 m), se tiene que la longitud total de la tubería es:

$$A = \pi * D * L$$

$$L = \frac{0.062}{3.14 * 0.00625} = 3.15 \text{ m}$$

En función a la longitud de 3.15m, y teniendo en cuenta la limitación de espacio en la tina superior del radiador (ancho de la tina 40 cm), la tubería será de longitud 35 cm, es decir que el número de tubos que requiere el serpentín será de  $3.15 / 0.35 = 9$

Cálculo de la disminución de Presión del Interior del Intercambiador de calor.

Diámetro tubería: 1/8" (0.003175 m)

Longitud de tubería: 3.15m

**Cálculo de pérdidas de carga (hf):**

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

**Dónde:**

**hf:** Altura de pérdida de presión, (m).

**f:** Factor de fricción.

**L:** largo (m)

**V:** Velocidad del fluido, en (m/s.)

**D:** Diámetro del conducto. (m)

**La ecuación de Coolebrok:**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

**Dónde:**

**λ:** Factor de fricción.

**D:** Diámetro de la tubería (m)

**Re:** Número de Reynolds. (adimensional)

**k:** Factor por tipo de accesorio. (adimensional)

**El Número de Reynolds se determina: (Re)**

$$Re = \frac{p * v * D}{\vartheta}$$

**Re:** Número de Reynolds.

**V:** Velocidad (m/s).

**D:** Diámetro de la tubería, (m).

**$\vartheta$ :** Viscosidad (Pa. s)

**p :** Densidad del agua (kg/ m<sup>3</sup>)

**La velocidad aproximada de flujo en tuberías:**

$$v = \frac{0.025}{0.0000079 * 993} = 3.18 \text{ m/s}$$

La viscosidad del agua a 20°C es 0.001 Pascal por segundo, y la densidad de 993 Kg/m<sup>3</sup>.

Por lo tanto.

$$Re = \frac{p * v * D}{\vartheta}$$

$$Re = \frac{993 \times 3.18 \times 0.003175}{0.001} = 10025.82$$

### Factor de fricción:

Reemplazamos cada valor de Coolebrook, obtenemos el factor  $\lambda$  de fricción, con una rugosidad en el conducto de PVC de 0,0015mm obteniendo 0.0000015m es de:

Apreciación en la expresión siguiente:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\gamma}} = -2 \log \left( \frac{\frac{0.0000015}{0.003175}}{3.7} + \frac{2.51}{10025.82\sqrt{\gamma}} \right)$$

$$\lambda: 0.031$$

Ecuación de Darcy: conocida como ecuación empírica que relacionan las pérdidas de cargas hidráulicas también conocidas como pérdidas de presión debido a la fricción en toda la longitud del conducto tubular y con la rapidez  $1/2$  del flujo de fluido.

Consignando ecuación de Darcy, la dimensión del conducto es de 3.15 m.

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$hf = \frac{0.0315 \cdot 3.15 \cdot (3.18)^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 0.003175} = 16.10 \text{ m.}$$

**Calcular los HP del impelen impulsor del líquido refrigerante**

Se expresa:

$$P_b = \frac{\gamma Q_{hf}}{m \eta}$$

Donde:

$P_b$  = potencia hidráulica en watt

$\gamma$  = Peso específico:  $9810 \text{ N/m}^3$

$\Theta$  = Caudal:  $0.025 \text{ m}^3/\text{s} = 0.025 \text{ Litros/seg}$

$h_f$  = Perdida de carga por fricción:  $16.10 \text{ m}$

$M_m$  = Eficiencia:  $0.8$

$$P_b = 9810 \times 0.025 \times 16.10 = 3968.25 \text{ watt}$$

$P_b = 49.3 \text{ watt}$ .

**El motor eléctrico que acciona la bomba es:**

$$P_b = \frac{P_b}{m_e} = \frac{49.3}{0.9} = 54.77 \text{ Watt}$$

El consume de corriente del motor eléctrico de la bomba es:

$$I = \frac{p}{v \cdot \cos\phi} = \frac{54,77}{12 \times 0.9} = 5.07 A$$

$\cos\phi$ : Factor de potencia = 0.9

V = 12 voltios, voltaje de la batería.

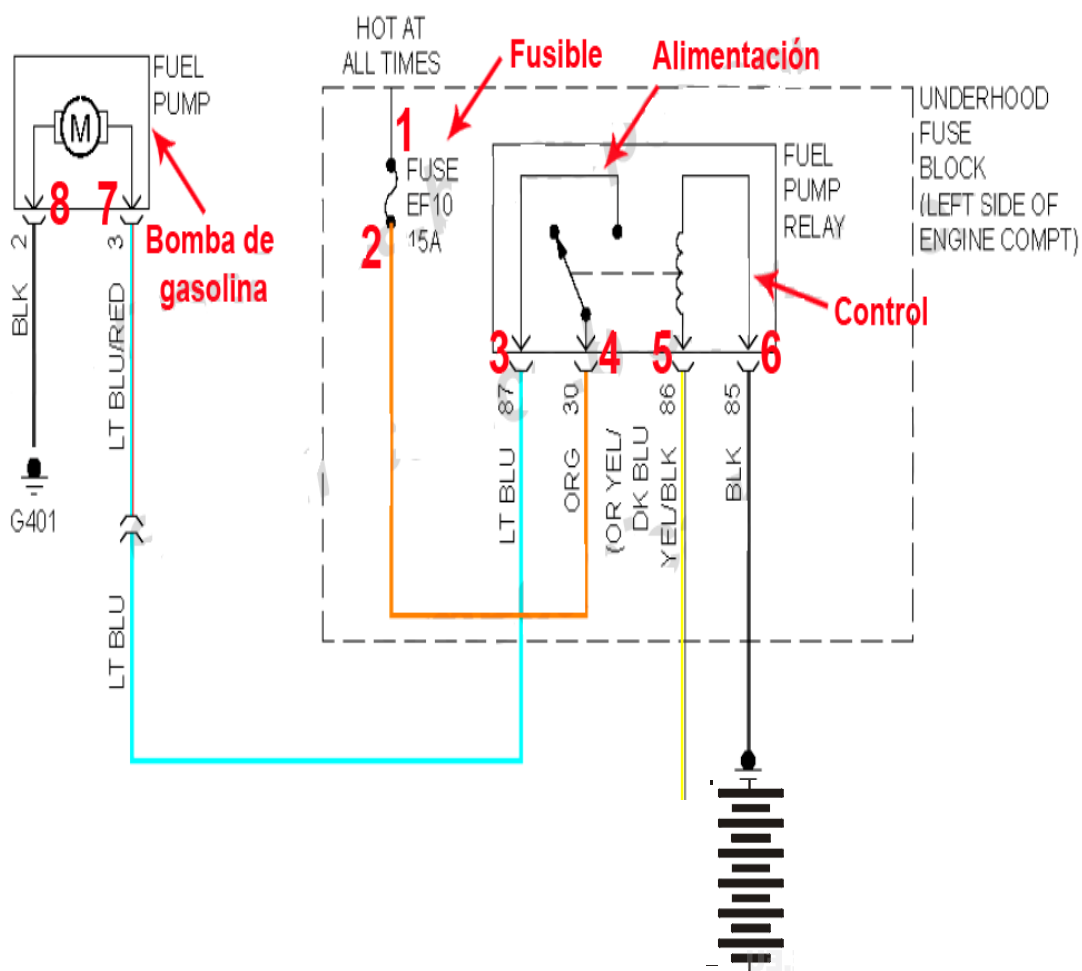


Figura 20. Circuito de la Conexión electrobomba

Fuente: Toyota 2016

### 3.4. Realizar una evaluación económica, utilizando indicadores económicos, tales como VAN y TIR

#### 3.4.1. Financiamiento de inicio de la tesis.

Tabla 7. Financiamiento de inicio de la tesis.

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Total S/.
1	Serpentín 1/8"	Unidad	1	320	320
2	Condensador	Unidad	1	220	220
3	Bomba de agua	unidad	1	80	80
4	Evaporador	Unidad	1	120	120
5	Maquinado de Radiador	Unidad	1	90	90
6	Líquido refrigerante- Bromuro de Litio	Galón	0.5	60	30
7	Mano de Obra	Unidad	1	280	280
	Total				1140

Fuente: Guía de observación

#### 3.4.2. Ingresos del proyecto.

Los ingresos de la tesis, se da por la comparación del sistema de aire acondicionado con compresión de vapor, tiene un consumo extra de carburante, cual varía entre 10 y 15% más, al utilizarse el aire acondicionado.

Para un recorrido diario de 200 Km, y un uso del aire del 40% de dicho recorrido, se tiene que, al día, el recorrido del vehículo con aire acondicionado de  $400 * 0.4 = 160$  Km; si tenemos en cuenta el gasto específico de carburante es 38 kilómetro por galón para condiciones normales 33.04 Kilometro por galón al utilizar el aire acondicionado.

Es decir que existe una diferencia de  $38 - 33.04 = 4.96$  Km/ galón, que es el adicional de consumo; dicho consumo constituye un ahorro; y se cuantifica  $4.96 * 4 / 38 = 0.52$  a razón de 13.00 Soles por galón, se tiene un ahorro diario de  $13.00 * 0.1305 * 4 = 6.78$  Soles al día, en un mes representa  $6.78 * 30 = S/. 203.62$



### 3.4.3. Flujo de caja.

Tabla 8. Flujo caja

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inversión Inicial S/.	1140												
Ingresos		203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6
Egresos (Mantenimiento)		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Utilidad S/.		178.6	178.6	178.6	178.6	178.6	178.6	178.6	178.6	178.6	178.6	178.6	178.6

Fuente: Autoría Propia

### 3.4.4. Análisis con indicadores económicos.

#### Valor actual neto

Cada valor de ingreso y egreso mensual se llevará al mes cero, punto de inicio de la investigación, a una tasa de interés del 18% Anual, es una tasa de interés para proyectos de inversión del sector privado. La tasa de 18% anual, es equivalente a una tasa de 1.5% mensual.

Utilidad actualizada al tiempo 0:

$$Ia = \frac{In * (1 + i)^n - 1}{[i * (1 + i)^n]}$$

Dónde:

Ia: Utilidad actualizada al mes 0.

Ia: Utilidad Mensual (Ingresos – Egresos):

i: Tasa de Interés: 1.5% Mensual

n: Número de Meses: 12

Ingresando valores, utilizaremos el comando VNA, del Software Microsoft Excel:

### Cálculo del valor actual neto

	0	1	2	3	10	11	12	
Inversión Inicial S/.	1140							
Ingresos		203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	
Egresos (Mantenimiento)		25	25	25	25	25	25	VNA (F8:S14)
Utilidad S/.	- 1140	178.6	178.6	178.6	178.6	178.6	178.6	S/. 1,725.87

Fuente: Elaboración propia

Tendré:  $Ia = S/. 1725.87$

Con respecto, el valor actual neto es la diferencia entre la utilidad actualizada de la investigación y el costo de la inversión:  $1725.87 - 1140 = S/. 585.87$

### Tasa interna de retorno

calcular la tasa interna de regreso, se calcula haciendo que los ingresos actualizados con una tasa de interés a determinar son igual a la inversión inicial del proyecto.

$$Inv = \frac{Ia * (1 + TIR)^n - 1}{[TIR * (1 + TIR)^n]}$$

Dónde:

Inv. Principio de inversión S/. 1140

Ia: Utilidad Mensual

TIR: Tasa Interna de Retorno.

n; Número de meses: 12

### Cálculo de la tasa interna de retorno

	0	1	2	3	10	11	12	
Inversión Inicial S/.	1140							
Ingresos		203. 6	203. 6	203. 6	203. 6	203. 6	203. 6	
Egresos (Mantenimiento)		25	25	25	25	25	25	TIR (F8:S14)
Utilidad S/.	- 1140	178. 6	178. 6	178. 6	178. 6	178. 6	178. 6	11.36%

Fuente: Elaboración propia.

Sustituyendo valores, y mediante la metodología de la utilización del software Microsoft Excel, se calculará el valor del TIR, sugiriendo la igualdad 11.36 % al mes, que representan unos valores superiores a la tasa de interés al mes que fluctúa al 1.5 % al mes.

#### **IV. DISCUSIÓN**

En los últimos años, la tecnología automotriz ha evolucionado, gracias a la electrónica, que tiene como función gestionar la energía que se genera, transporta y consume en el vehículo, así mismo el confort es una de las prioridades, por lo cual el sistema de calefacción es de uso casi obligado, sin embargo, su uso ocasiona un incremento de combustible, que, cuantificado en un tiempo relativamente largo, es significativo el aumento del costo de operación.

El aprovechamiento de la energía que no se está utilizando, como es el caso de la transferencia de energía desde el radiador hacia el exterior, se hace necesario, a fin de no incrementar el consumo de combustible con sistemas adicionales al motor, el sistema de aire acondicionado por compresión de vapor se usa frecuentemente, con consumos adicionales de combustible entre el 15 y 20%.

4 paradigmas son los que persiguen las empresas automotrices en el mundo, una de ellas es el menor consumo específico de combustible de los vehículos, la menor emisión de gases de escape, el mayor confort y la seguridad. El uso de sistemas cada vez más eficientes y versátiles, hacen que la tendencia se mantenga a medida que transcurren los años.

El diseño del serpentín en el interior del radiador del vehículo es el aspecto que no afecta el normal funcionamiento de este, debido a que solo se transfiere calor, que se está cediendo al exterior, con la finalidad de que el líquido refrigerante nuevamente regrese al sistema de refrigeración del motor, y de esa manera de manera cíclica, el agua extraiga calor de las partes móviles del motor de combustión interna.

## V. CONCLUSIONES

- Se determinó el calor total que se requiere para climatizar el interior del vehículo a una temperatura de 19°C, con temperatura exterior de 33°C, es el calor sensible más la corriente de energía por conducción, más la corriente de energía por convección, es decir:  $1091.3 + 516.99 + 346.44 = 1954.3$  Watt.
- Se realizó el balance de flujo de cada elemento, y se obtuvieron como resultados que el absorbedor del circuito requiere 830.1 Watt térmicos, 5676 Watt, será el calor requerido y se debe obtener desde la transferencia de calor ubicado en la tina superior del radiador del sistema de refrigeración del motor de combustión interna, y la potencia del condensador del sistema es de 305 Watt.
- Se hizo el diseño del colector de calor ubicado en el interior del radiador del vehículo, determinándose que la velocidad del líquido refrigerante del circuito de aire acondicionado será de 3.18 m/s. LMTD es la desigualdad de temperatura media logarítmica con un valor de 56.91°C, área de transferencia del serpentín de 0.062m<sup>2</sup>, longitud total 3.15m.
- Los indicadores económicos para el caso del VAN fueron de S/.585.87, y para el TIR de 11.36%, valores que hacen verídico la culminación del proyecto, como proyecto e innovación automotriz.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Recomendando la verificación de la posibilidad del uso de la energía calorífica de la combustión para utilizarse en el sistema refrigeración por absorción.
- Determinar los parámetros de operación del radiador, en cuanto a sus niveles de transferencia de calor, al tener un serpentín colector de energía calorífica en su interior.
- Utilizar materiales con alto índice de conductividad térmica, que sean fáciles de maquinar y que tengan buena resistencia a las variaciones de temperatura y presión en el interior del vehículo.

## **REFERENCIAS**

**UNION EUROPEA.** Informe del Nivel de emisiones de los vehículos automotrices. Madrid, España, 2014, 45pp.

**SECRETARÍA DE ESTADO DE CAMBIO CLIMÁTICO.** Reglamentación del uso de los refrigerantes en el sector industrial. Buenos Aires, Argentina, 2014, 67pp.

**SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS.** Optimización de la temperatura en el interior de las unidades vehiculares. USA, 2014, 37pp.

**MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.** Transporte masivo de personas en el Perú. Lima, Perú, 2015, 45pp.

**PROTRANSPORTE.** Soluciones para el Transporte de Personas en las ciudades del Perú. Lima, Perú, 2014, 65pp.

**MATARAZZO Y.** Refrigeración Local De Vehículos Con Calor Excedente, Madrid, España, 2014, 67pp.

**GONZÁLEZ Q.** Propuesta de un sistema de refrigeración por absorción para la climatización del edificio administrativo de la termoeléctrica de Felton” presentado a la Facultad de Ingeniería Mecánica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Cuba, 2014, 78pp.


**MARCOS DEL CANO.** Prototipo de máquina frigorífica de absorción de LiBr/H<sub>2</sub>O de doble efecto condensada por aire”, Madrid, España, 2014, 121pp.

**CASTILLO, C.** Uso del Aire Acondicionado en unidades automotrices. Lima, Perú, 2014, 34pp.

**DIAZ R.** Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor. México 2015, 56pp.

## ANEXOS

### Anexo N° 01: Guía de observación de cargas térmicas

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		Tesis: DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN PARA ABASTECER DE ENERGÍA AL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO EN VEHÍCULOS LIGEROS
GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS		



**Instrucciones:**

Realizar la cuantificación de las cargas térmicas en el interior de un vehículo liviano

<b>CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA EN INTERIOR DE VEHÍCULO</b>					
Carga de Calor Sensible					
Calor por dispersión ganado por:	Unidades	Factores o Coeficientes			
<b>Puertas y aberturas</b>		<b>Área</b>	<b>K</b>	<b>Variación de Temperatura</b>	CALOR Transferido (Watt)
Transf. Calor					
Puerta Metálicas					
Cristalina					
Puertas Delantera Derecha					
Puertas Delantera Izquierda					
Puertas Posterior Derecha					
Puertas Posterior Izquierda					
Ventanas Acristaladas					
<b>Transf. Calor</b>					
Delantera Derecha					
Delantera Izquierda					
Posterior Derecha					
Posterior Izquierda					
<b>Techos</b>					
Techos sin aislar					
<b>Suelos o pisos</b>					
Sobre cuartos ocupados					
<b>Sub Total S1</b>					
<b>Calor Interno</b>					
Luminarias					
Motores y Ventiladores					
Ocupantes					
<b>Sub Total S2</b>					
Carga de Calor Latente					
Calor Latente	Unidad	Cantidad	Factor	$\Delta W$	
Ocupantes					
Asientos					
<b>Sub Total S3</b>					
<b>Indicadores del Proyecto</b>					
<b>Total (KW)</b>					

## FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

- Apellidos y Nombres:

RODRIGUEZ PAREDES RICARDO

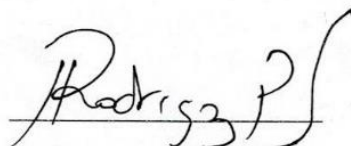
- Profesión: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

- Grado académico: DOCTOR

- Actividad laboral actual:

INGENIERIA DE PROYECTOS

DOCENCIA UNIVERSITARIA



*Firma del entrevistado*

.....  
Dr. Ricardo Rodríguez Paredes  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
LICENCIADO EN EDUCACIÓN

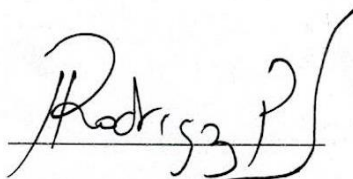
### INDICACIONES AL EXPERTO.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto	5 Muy alto
--------------	-----------	--------------	-----------	---------------

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)	X		
b) Experiencia como profesional. (EP)	X		
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)	X		
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)	X		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	X		



*Firma del entrevistado*

.....  
*Dr. Ricardo Rodríguez Paredes*  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
LICENCIADO EN EDUCACIÓN

**Estimado(a) experto(a):**

El instrumento de recolección de datos a validar la guía de observación, cuyo objetivo  
DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN PARA ABASTECER DE  
ENERGÍA AL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO EN VEHÍCULOS LIGEROS.

Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por  
favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera pertinente la aplicación de esta entrevista para los fines establecidos  
en la investigación?

Es pertinente: ☒ Poco pertinente: ☐ No es pertinente: ☐

Por favor, indique las razones:

COMPLEMENTA LA TESIS

2. ¿Considera que la entrevista formula las preguntas suficientes para los fines  
establecidos en la investigación?

Son suficientes: ☒ Insuficientes: ☐

Por favor, indique las razones:

SON PREGUNTAS CONCRETAS REFERIDAS  
AL TEMA DE INVESTIGACIÓN

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que  
el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas: ☒ Poco adecuadas: ☐ Inadecuadas: ☐

Por favor, indique las razones:

SON PREGUNTAS CONCRETAS Y  
REDACTADAS EN FORMA CLARA

4. Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Ítem	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy precisa	Poco precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
	X			X			
	X			X			
	X			X			
	X			X			

5. ¿Qué sugerencias haría Ud. para mejorar el instrumento de recolección de datos?

ANÁLISIS CIENTÍFICO Y ESTADÍSTICO

Le agradecemos por su colaboración.

Fecha de evaluación:

  
Firma del Experto

Dr. Ricardo Rodríguez Paredes  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
LICENCIADO EN EDUCACIÓN